LIBRARY OF THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

Comité de rédaction des Annales.

Rédacteur en chef :

L. GRANDEAU, directeur de la Station agronomique de l'Est.

U. Gayon, directeur de la Station agronomique de Bordeaux.
Guinon, directeur honoraire de la Station agronomique de Châteauroux.
Margottet, recteur de l'Académie de Lille.
Th. Schlœsing, membre de l'Institut.
E. Risler, directeur de l'Institut national agronomique.
L. Mangin, docteur ès sciences, professeur au lycée Louis-le-Grand.
A. Müntz, membre de l'Institut.
A. Ronna, membre du Conseil supérieur de l'agriculture.
Ed. Henry, professeur à l'École nationale forestière.
E. Reuss, inspecteur des forêts à Fontainebleau.
C. Flammarion, directeur de la Station de climatologie agricole de Juvisy.

Correspondants des Annales pour les colonies et l'étranger.

COLONIES FRANÇAISES.

H. Lecomte, docteur ès sciences, professeur au lycée Saint-Louis.

ALLEMAGNE.

L. Ebermayer, professeur à l'Université de Munich.
J. König, directeur de la Station agronomique de Münster.
Fr. Nobbe, directeur de la Station agronomique de Tharand.
Tollens, professeur à l'Université de Göttingen.

ANGLETERRE.

R. Warington, chimiste du laboratoire de Rothamsted.
Ed. Kinch, professeur de chimie agricole au collège royal d'agriculture de Cirencester.

BELGIQUE.

A. Petermann, directeur de la Station agronomique de l'État (Gembloux).

CANADA.

Dr O. Trudel, à Ottava.

ÉCOSSE.

T. Jamieson, directeur de la Station agronomique d'Aberdeen.

ESPAGNE ET PORTUGAL.

Joâo Motta dâ Prego, à Lisbonne.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

E. W. Hilgard, professeur à l'Université de Berkeley (Californie).

HOLLANDE.

A. Mayer, directeur de la Station agronomique de Wageningen.

ITALIE.

A. Cossa, professeur de chimie à l'École d'application des ingénieurs, à Turin.

NORWÈGE ET SUÈDE.

Dr Al. Atterberg, directeur de la Station agronomique et d'essais de semences de Kalmar.

SUISSE.

E. Schultze, directeur du laboratoire agronomique de l'École polytechnique de Zurich.

RUSSIE.

Thoms, directeur de la Station agronomique de Riga.
M. Ototzky, conservateur du musée minéralogique de l'Université impériale de Saint-Pétersbourg, rédacteur en chef de la *Pédologie*.

NOTA. — *Tous les ouvrages adressés* franco *à la Rédaction seront annoncés dans le premier fascicule qui paraîtra après leur arrivée. Il sera, en outre, publié, s'il y a lieu, une analyse des ouvrages dont la spécialité rentre dans le cadre des* Annales (*chimie, physique, géologie, minéralogie, physiologie végétale et animale, agriculture, sylviculture, technologie, etc.*).

Tout ce qui concerne la rédaction des Annales de la Science agronomique française et étrangère (*manuscrits, épreuves, correspondance, etc.*) *devra être adressé* franco *à M.* **L. Grandeau**, *rédacteur en chef, 48, rue de Lille, à Paris.*

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

ORGANE

DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES

PUBLIÉES

Sous les auspices du Ministère de l'Agriculture

PAR

LOUIS GRANDEAU

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'AGRICULTURE DE FRANCE
RÉDACTEUR EN CHEF DU « JOURNAL D'AGRICULTURE PRATIQUE »
PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES STATIONS AGRONOMIQUES
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE
MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE

2e SÉRIE — SIXIÈME ANNÉE — 1900

Tome I.

Avec figures dans le texte.

BERGER-LEVRAULT ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

PARIS
5, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY
18, RUE DES GLACIS

1900

1900
t.1

LA DÉCOMPOSITION

DES

MATIÈRES ORGANIQUES

ET LES FORMES D'HUMUS

DANS LEURS RAPPORTS AVEC L'AGRICULTURE[1]

PAR

Le Dr WOLLNY

PROFESSEUR D'AGRICULTURE A L'ÉCOLE TECHNIQUE SUPÉRIEURE DE MUNICH

(*Suite.*)

IV. — INFLUENCE DES HUMUS SUR LA FERTILITÉ DU SOL.

Les influences si compliquées de l'humus sur la fertilité des sols présentent, suivant que l'humus entre comme partie intégrante ou comme couverture, des différences telles qu'il est bon de les étudier séparément.

1. L'humus comme élément du sol.

Son influence sur la végétation varie suivant la quantité que le sol en renferme. C'est un fait d'expérience qu'un taux modéré d'humus exerce l'action la plus favorable sur la fertilité, tandis qu'un excès dans le sol est en général tellement nuisible que seules les plantes sans valeur peuvent y prospérer. Les limites entre lesquelles l'humus agit avantageusement sont difficiles à préciser parce qu'elles diffèrent suivant les propriétés des autres éléments du sol.

---

1. Voir ces *Annales*, t. II, 1898; t. I et II, 1899.

Que dans une terre peu fertile viennent à s'accumuler quelques centièmes d'humus, cela pourra déjà avoir une grande importance, étant donnée la mauvaise composition de cette terre. Une faible dose d'humus suffisante pour faire désigner un sol sablonneux comme riche en humus fera qualifier de pauvre un sol fertile de lehm ou d'argile qui possède toutes les conditions requises pour une abondante production d'humus. Dans de tels sols un taux de 5 à 6 p. 100 peut être considéré comme le minimum exigible pour qu'ils soient dits riches en humus. Chez les sols agricoles les plus fertiles la teneur en humus dépasse rarement 15 p. 100 et la plupart des champs n'en contiennent pas plus de 2 à 5 p. 100.

L'influence qu'exerce une dose semblable sur la fertilité du sol est avantageuse sous plusieurs rapports. Elle a trait aux propriétés chimiques et physiques du sol.

A) *L'humus agit chimiquement* en contribuant directement et indirectement à enrichir le sol en matières nutritives assimilables et en les soustrayant à l'action dissolvante des eaux d'infiltration.

Les combinaisons humiques du sol sont-elles absorbées par les plantes ou sont-elles inutiles à la formation des matières organiques, c'est là une question qui a été souvent agitée mais qui n'a pas encore reçu une solution définitive. On a plusieurs fois soutenu que des combinaisons organiques ne pouvaient être absorbées par les végétaux supérieurs puisqu'elles ne sont pas diffusibles[1]. Cette objection n'est pourtant pas inattaquable ; car, d'après les recherches de A. Petermann[2], il y a dans le sol des matières organiques qui diffusent à travers une membrane de parchemin, comme le montrent les chiffres ci-dessous :

100 grammes de terre fine ont laissé diffuser au bout de 10 jours les quantités suivantes de matière organique (grammes).

SOL sablonneux.	SCHISTE ARGILEUX et sable.	SCHISTE ARGILEUX et calcaire.	ARGILE sableuse.	SABLE ARGILEUX. I.	SABLE ARGILEUX. II.
0,0328	0,0125	0,0660	0,1811	0,0255	0,0384

1. W. Detmer, *Landwirthschaftliche Versuchsstationen*, vol. XIV, p. 291.
2. A. Petermann, *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, t. III, 1882, n° 1.

La nature des éléments organiques dialysables du sol n'est pas encore connue ; mais elle diffère en tout cas de la *matière noire* de GRANDEAU puisque celle-ci ne traverse ni le parchemin ni la membrane des cellules végétales ; elle diffère aussi de l'acide humique et de l'humate d'ammoniaque qui ne se diffusent pas.

Bien qu'en ce qui concerne la dialyse du sol les essais avec le parchemin ne puissent être appliqués *de plano* aux cellules végétales, il est permis de conclure de ces essais à la possibilité de l'absorption par les plantes de certaines matières humiques et d'y trouver une confirmation des travaux depuis longtemps oubliés de E. RISLER[1]. Celui-ci admettait, contrairement à la doctrine de LIEBIG, que les plantes prennent une partie de leur carbone aux matières organiques du sol.

P. P. DEHÉRAIN[2] a fait à ce sujet des essais avec deux betteraves dont l'une provenait d'un sol riche en matière organique et l'autre d'un sol pauvre sous ce rapport, mais bien pourvu de principes minéraux et de nitrates. Voici les différences présentées à la récolte :

		TERRE RICHE en matière organique.	TERRE PAUVRE en matière organique mais riche en matières minérales.
		—	—
Poids de toute la plante	gr.	730	165
Poids des racines	gr.	410	92
Sucre dans 100 p. de jus.		15.04	11.11
Sucre dans toute la plante	gr.	61,60	10,12

La betterave venue dans le sol pauvre en matière organique avait donc, malgré une forte provision d'eau et de principes nutritifs, fourni une récolte bien moindre que celle qui provenait d'un sol riche en matière organique. DEHÉRAIN conclut de là que la différence constatée dans les récoltes ne pouvait tenir qu'à la différence dans le taux de matière organique des deux sols et que la betterave doit sans doute trouver pour son développement normal, outre les principes minéraux et les nitrates, des matières organiques solubles

1. E. RISLER, *Archives de la Bibliothèque de Genève,* 1858.
2. P. P. DEHÉRAIN, *Annales agronomiques,* t. XV, 1889, p. 481-505.

dialysables. Ceci s'accorde avec les recherches de A. PETERMANN. Il peut se faire, ajoute-t-il, que quelques autres plantes se comportent de même tandis que d'autres peuvent se passer de ces matières.

Les analyses précédentes n'autorisent cependant pas une pareille conclusion parce qu'on n'a pas montré qu'il y a absorption directe de la matière organique ni que la quantité des substances dialysables diffère dans les deux sols. Ajoutons que, eu égard à la grande différence dans le développement des plantes analysées, il semble hasardé de tirer une conclusion à si grande portée de recherches faites sur deux spécimens seulement.

Divers essais de fumure dus notamment à J. B. LAWES et J. H. GILBERT ont montré que les plantes agricoles végétant dans un sol riche en matières organiques, c'est-à-dire fumé au fumier de ferme, donnent des récoltes sensiblement plus abondantes que celles des terrains pauvres en humus mais pourvus de sels nutritifs par l'épandage d'engrais minéraux.

E. BRÉAL[1] a fait dernièrement des expériences dans le but de prouver l'absorption directe des matières humiques par les végétaux supérieurs.

Les jeunes plantes développées : 1° dans l'eau ordinaire additionnée de nitrates et de phosphate de chaux ; 2° dans l'eau ordinaire avec humate de chaux ; 3° simplement dans l'eau ordinaire, ont produit dans leurs organes tant aériens que souterrains les poids suivants de substance sèche (en grammes) :

	1.	2.	3.
100 plants de lentilles . . .	2,250	4,000	2,750
10 — de blé	0,475	1,050	0,450
3 — de fèves.	6,250	10,250	»

L'humate de chaux a donc favorisé sensiblement la croissance des jeunes plants. En outre, E. BRÉAL fit des essais sur le *Poa annua ;* il en arracha une touffe, enleva les racines et mit les plantes dans un vase sur le fond duquel était une mince couche d'eau pour provoquer la formation de nouvelles racines. Quand elles furent dévelop-

1. E. BRÉAL, *Annales agronomiques,* t. XX, 1894, p. 353-370.

pées, il partagea la touffe en deux parties égales et les mit toutes deux dans une solution d'humate de potasse mais en séparant dans l'une des moitiés les racines des tiges. Au bout de deux ou trois jours, l'humate de chaux avait complètement disparu dans la solution où les racines attenaient aux tiges, tandis que dans le vase où les racines gisaient séparées la solution était restée inaltérée. En analysant les solutions à l'aide du bichromate de potasse et de l'acide sulfurique, on vit que dans le premier vase les racines avaient absorbé une quantité de carbone correspondant à $0^g,20$ d'acide carbonique ($= 0^g,055$ C.). L'humate de soude agit de même.

Le même savant disposa sur le fond d'un vase contenant un peu d'eau de source une bande de papier à filtre trempée dans l'acide humique et y enfonça les racines d'un *Poa*. Là où les racines touchèrent le papier, elles imprimèrent leur trace dans la couche d'acide humique comme l'avaient fait sur la plaque de marbre les racines de fèves dans la célèbre expérience de J. Sachs. Enfin E. Bréal a montré que les plantes (*Poa annua*) pouvaient absorber le sucre par leurs racines.

Ces résultats prouvent que des matières organiques peuvent être utilisées par les végétaux supérieurs à chlorophylle; pourtant, on ne peut encore en conclure que ces matières sont absorbées telles quelles par les plantes; car, d'après les recherches de H. Molisch[1] sur les excrétions des racines et leur action sur des matières organiques, il se pourrait que les matières en question subissent avant leur absorption une modification chimique plus ou moins profonde. H. Molisch montre que la racine par son excrétion acide ne corrode pas seulement les plaques de pierre polie mais agit encore sur les corps organiques et même d'une manière plus intense que sur les minéraux puisqu'au lieu d'une simple dissolution elle provoque ici une transformation chimique.

Cette excrétion de la racine peut être considérée comme un auto-oxydant qui amène la combustion des substances facilement oxydables, donc aussi des matières humiques.

---

1. H. Molisch, *C. R. de l'académie des sciences de Vienne. Math.-naturw. Klasse*, XCVI, 3, p. 84-109.

L'eremacausis des matières organiques du sol doit être favorisée par les sécrétions des racines ; ne sait-on pas que les engrais végétaux se transforment plus vite dans un sol pourvu de racines que dans un sol qui n'en contient pas ? L'action favorable de l'humus sur la croissance des plantes peut donc être attribuée aussi bien à une absorption directe qu'à l'assimilation de matières nutritives provenant de transformations chimiques de cet humus.

B. Frank[1] a fait dernièrement une découverte importante relative au mode particulier d'absorption des matières organiques, probablement albuminoïdes, par certains arbres. Il a trouvé que *certains arbres, notamment les cupulifères et les conifères, ne se nourrissent pas directement du sol mais vivent en symbiose*[2] *dans tout leur système radiculaire avec un mycélium qui joue le rôle de nourrice et transporte à l'arbre la nourriture qu'il a puisée dans le sol.*

« Si sur l'un quelconque de nos hêtres, chênes, charmes, coudriers, châtaigniers, pins[3], etc., on examine les petites racines absorbantes, elles se montrent généralement formées de deux éléments hétérogènes ; une partie centrale représentant la racine elle-même et une écorce soudée aux tissus sous-jacents et formée de filaments mycéliens. Ce manteau de mycélium enveloppe complètement la racine, même son point végétatif ; il s'accroît avec elle par l'extrémité et se comporte à tous égards comme un tissu périphérique appartenant à la racine et lui étant organiquement lié. L'ensemble n'est donc ni uniquement une racine d'arbre ni un champignon ; mais c'est, comme le thalle des lichens, une association de deux êtres différents en une entité morphologique que l'on peut appeler une racine à champignon ou *mycorhize*. » Le champignon apparaît après la germination tout d'abord sur les racines latérales de premier et de second ordre. C'est chez le charme que son inva-

---

1. B. Frank, *Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft*, 1885, p. 128-145, et vol. VI, p. 248-249. — *Biologisches Centralblatt*, 1885, vol. V, p. 225-228.

2. On entend par *symbiose* le fait très répandu dans la nature de deux êtres d'espèces différentes s'associant pour vivre en commun.

3. *Forstwissenschaftliches Centrablatt*, 26e année, 1894, p. 185-190.

sion est la plus rapide ; des plants d'un an ont déjà toutes leurs racines absorbantes transformées en mycorhizes. C'est chez le chêne que l'apparition du champignon se fait le plus attendre ; souvent des plants d'un et deux ans ou bien encore certaines portions des racines de plants plus vieux ne sont que partiellement champignonnés.

Les racines absorbantes dépourvues de mycélium possèdent alors, comme celles des autres végétaux, des poils absorbants qui manquent toujours aux mycorhizes. Celles-ci s'accroissent très lentement en longueur, mais grossissent plus et ont une plus grande tendance à la ramification qui souvent prend l'aspect coralliforme ; la ramification est endogène et monopodique. Comme les racines absorbantes, les mycorhizes ont une durée de vie limitée, et les plus grosses, celles qui deviennent des ramifications lignifiées et durables du système, perdent leur manteau mycélien qui est propre aux parties jeunes, à celles qui jouent un rôle dans la nutrition.

B. Frank a constaté la présence régulière du champignon à tous les âges, sur toutes les racines, dans tous les sols et tous les pays, chez *Carpinus betulus, Corylus avellana, Fagus silvatica, Quercus pedunculata, Q. sessiliflora, Q. rubra, Castanea vesca, Salix, Populus, Pinus, Abies* et *Picea*. Par contre, les mycorhizes n'ont jamais été rencontrées sur *Betula, Alnus, Ulmus, Morus, Platanus, Juglans, Pirus, Cratægus, Prunus, Robinia, Tilia, Acer, Rhamnus, Cornus, Fraxinus, Syringa, Sambucus*. Le mycélium radiculaire fait donc un choix rigoureux entre les espèces ; dans une forêt de hêtres, les racines de hêtre seront seules envahies et pas celles de *Hedera, Acer, Anemone, Oxalis,* etc.

Voici les motifs qui portent à croire que les mycorhizes des arbres jouent le rôle de nourrices :

1° La mycorhize existe partout, ce qui n'est pas le fait du parasitisme ordinaire, toujours accidentel. Le fait que cette symbiose est universellement répandue, affectant partout et toujours chaque individu, lui donne le caractère d'une adaptation de la plante à l'activité du champignon, activité dont elle tire un certain profit.

2° La présence des mycorhizes dépend du taux d'humus. Elles se rencontrent toujours dans le sol forestier ordinaire riche en humus

et manquent partout où manque l'humus d'arbre. Elles sont produites par l'humus naturel forestier et le mycélium qui y croît. Inversement, si l'on transporte des plantes avec mycorhizes dans un sol absolument privé d'humus, les racines perdent peu à peu leur mycélium. Ce n'est donc pas dans les racines vivantes que celui-ci trouve ses conditions d'existence, mais bien plutôt dans l'humus des arbres.

3° La symbiose de la racine et du champignon présente une série de particularités qui concordent pleinement avec l'idée que le champignon est un fournisseur d'aliment pour l'arbre et qui forcent à admettre cette manière de voir. Ainsi c'est toute la région de la racine capable d'absorber qui est revêtue d'un manteau mycélien continu intimement lié à la racine à laquelle la nourriture arrive par son entremise. Ce manteau, dans les circonstances naturelles ordinaires, ne manque dans aucune saison. Pendant un temps assez long, plusieurs saisons de végétation, la mycorhize est pour la plante un organe en fonctionnement, adapté à l'assimilation de l'humus. La façon dont plante et champignon sont associés correspond exactement aux exigences auxquelles doit satisfaire la mycorhize considérée comme organe puisant dans l'humus par son champignon des aliments pour la plante. L'action des champignons des mycorhizes sur le sol forestier est très importante, car l'humus forestier est constitué pour une bonne partie par une innombrable quantité de mycéliums vivants qui le traversent en tous sens. Les mycorhizes ne renferment pas trace d'acide nitrique (même si le sol et les végétaux qui y croissent en contiennent), ni les racines, tandis qu'on le décèle dans les racines absorbantes des arbres non mycorhizés. La combinaison azotée assimilée par le champignon de la mycorhize est inconnue ; il paraît absorber l'azote sous une forme autre que l'acide nitrique. L'importance de cette symbiose consisterait donc en ce que le champignon serait à même de puiser à des sources d'azote inutilisables sans lui par les végétaux supérieurs. « Chez les plantes à chlorophylle les champignons des mycorhizes agissent surtout en absorbant l'azote de l'humus. »

4° Les résultats de diverses expériences et observations militent encore en faveur de l'alimentation des arbres par l'humus, grâce

aux champignons des racines. De jeunes chênes et hêtres peuvent bien vivre dans des solutions nutritives et dans un sol dépourvu de champignons ; mais leur nutrition est meilleure quand elle se fait avec l'humus par l'intermédiaire des mycorhizes. Des plants de hêtre venus de semis moururent en partie déjà à la fin du premier été à la suite d'une alimentation sans humus ni champignon ; les autres vécurent chétivement encore une année puis périrent l'un après l'autre. Le hêtre sans mycorhize se nourrit mal comme le montrent les cultures faites parallèlement en sol stérilisé et non stérilisé. Dans le premier les plants meurent peu à peu.

On a observé aussi que le pin sylvestre en sol normal de bonne qualité ne se développe pas s'il n'y a pas de champignon de racine et si, par suite, la formation des mycorhizes se trouve entravée, tandis que dans le même sol et les mêmes conditions extérieures il se développe puissamment s'il possède des mycorhizes.

« Tous ces faits viennent à l'appui de la thèse suivante. L'humus du sol forestier est vivifié par des champignons[1] qui ont la propriété de faire passer dans l'organisme végétal le carbone et l'azote des détritus des arbres et de les employer directement à son alimentation. Les arbres forestiers qui ne jouissent pas par eux-mêmes de cette faculté utilisent ces mycéliums de l'humus (grâce à la symbiose que leurs racines contractent avec eux) pour reprendre aussitôt et aussi complètement que possible les éléments précieux de leurs propres déchets. » (B. Frank.) L'arbre serait donc, à proprement parler, un parasite de ces champignons saprophytes ; mais il est plus probable qu'il y a bénéfice réciproque (non encore déterminé) et que le champignon retire de la racine de l'arbre la récompense de son service.

En raisonnant d'après tous ces faits, on arrive à ce résultat que les végétaux supérieurs à chlorophylle ont la faculté d'absorber et d'utiliser certains éléments de l'humus. Il ne faut cependant pas conclure à leur indispensabilité puisque de nombreux essais ont prouvé que les plantes vertes peuvent atteindre leur maximum de

1. On ne peut encore déterminer sûrement la place de ces champignons dans la classification. Ils appartiennent probablement aux Tubéracées et aux Hyménogastrées.

rendement même en l'absence de matières organiques et prendre dans l'atmosphère tout le carbone dont elles ont besoin. Même en laissant de côté ses fonctions comme aliment, l'humus garde toute sa valeur au point de vue de la fertilité des sols parce qu'il exerce, en outre, l'action la plus favorable sur leurs propriétés physiques et chimiques, comme nous allons essayer de le démontrer plus loin.

Nous avons dit, au début de ce livre, que la décomposition des matières organiques, quand elle se fait dans les conditions de l'eremacausis, donne naissance, en dehors de l'eau et de l'acide carbonique, à de l'ammoniaque, qui se transforme en nitrate par oxydation ultérieure, et à des principes minéraux solubles originairement contenus sous forme inassimilable soit dans le sol, soit dans les détritus végétaux ou animaux[1]. Donc, à mesure que les matières humiques se décomposent, le sol s'enrichit en ammoniaque (et nitrates) et en principes minéraux qui peuvent être utilisés par les plantes. C'est une circonstance favorable, dans l'emploi des engrais d'origine organique comparés aux engrais artificiels à sels très solubles, que les principes nutritifs ne se forment pas tout d'un coup dans les transformations de l'humus, mais peu à peu, ce qui fait que les matières, surtout les azotées, sont protégées très efficacement contre la dissolution.

Des recherches de E. Simon[2] il résulte que l'acide humique entre en combinaison avec certains minéraux du sol, entre autres l'acide phosphorique. On produit ces combinaisons entre l'acide phosphorique et la matière organique en mélangeant une dissolution d'humate d'ammoniaque avec une dissolution étendue d'acide phosphorique. Déjà L. Grandeau[3] était arrivé à penser qu'il existe des combinaisons entre les matières organiques et minérales du sol, et ces composés, dans les idées de ce savant, sont une des principales causes de la fertilité des sols.

---

1. Remarquons qu'une partie des éléments minéraux des détritus végétaux est dissoute par les excrétions des racines et absorbée par cette voie, si bien qu'après l'eremacausis des matières qui existaient d'abord sous forme insoluble, comme des minéraux non décomposés, passent sous une forme facilement soluble.

2. Biedermann's, *Centralblatt für Agrikulturchemie*, vol. VIII, 1875, p. 74.

3. *Journal d'agriculture pratique*, 1872, nos 14 17, 20 et 43.

L'action indirecte de l'humus consiste surtout en ce que les corps qui se forment dans l'eremacausis ont la faculté de rendre solubles certains principes minéraux insolubles. Ainsi, selon F. Senft [1], les silicates alcalins et alcalino-terreux, les phosphates de chaux et de fer sont décomposés et rendus solubles par un contact assez prolongé avec l'humate d'ammoniaque. Merschtschersky [2] a montré en outre que l'orthose est attaqué par l'humus et Eichhorn [3] a établi par de nombreuses recherches que des terres humifères renfermant des acides humiques libres mettent en liberté les acides des solutions de sels neutres et déterminent une acidité plus accusée que celle qu'on constate sans l'intervention de ces sels. Cette mise en liberté intéresse surtout les phosphates; aussi acide phosphorique et phosphates entrent en solution.

L'humus favorise donc l'utilisation des substances minérales du sol en les mettant dans un état assimilable et en accélérant ainsi évidemment la végétation.

L'humus exerce une action indirecte très importante par la grande quantité d'acide carbonique qui se produit dans l'eremacaucis et agit sur divers minéraux du sol en les dissolvant. Cette action s'exerce tant sur les carbonates alcalino-terreux (chaux et magnésie) qui se transforment alors en bicarbonates que sur les minéraux des silicates alcalino-terreux ou alcalins ou de protoxyde de fer. Ces derniers sont décomposés lentement, mais graduellement, sous l'influence de l'humidité d'un sol riche en acide carbonique ; la silice hydratée est mise en liberté et il se forme des carbonates qui se dissolvent dans l'eau et servent à la nutrition des plantes. Les recherches de Th. Dietrich [4] montrent dans quelles limites s'exerce cette action ; il traita des sols et des roches soit avec de l'eau distillée, soit avec de l'eau contenant de l'acide carbonique et dosa les minéraux dissous.

---

1. F. Senft, *Lehrbuch der Gesteins- und Bodenkunde,* 2e édition, Berlin, 1877, p. 331.

2. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft,* vol. XVI, p. 2283.

3. *Landwirthschaftliche Jahrbücher,* vol. I, 1877, p. 957.

4. Th. Dietrich, *Journal für praktische Chemie,* vol. LXXIV, p. 129.

Voici les résultats qu'il obtint :

Poids total en grammes des minéraux dissous dans 200 grammes.

	LEHM humifère.	LEHM calciné.	PORPHYRE.	BASALTE.	PHOSPHORITE.	GNEISS.	GRAUWACKE.	GRÈS rouge.
Eau distillée . .	0,039	0,085	0,020	0,016	0,032	0,067	0,133	0,013
Eau avec acide carbonique. .	0,072	0,171	0,040	0,298	0,072	0,340	0,166	0,467

Dans les expériences de A. Stöckhardt [1] sur 10 000 parties en poids de roche pulvérisée il s'est dissous dans

	PORPHYRE.	BASALTE.	LEHM calciné.
Eau distillée	10	8	42
Eau avec acide carbonique. . .	20	149	85

C'était de la potasse, de la soude et de la chaux.

K. Haushofer [2] a pu constater que d'un granit pulvérisé provenant d'Unter-Röslau dans les Fichtelgebirge il s'est dissous sur 1 000 parties dans

Eau pure.	0,062
Eau avec acide carbonique. . . .	0,172

Les recherches faites par A. Cossa [3] sur du gneiss, de la phonolithe, du trachyte, du basalte, etc., ont conduit à un résultat absolument semblable.

Th. Dietrich a montré que l'acide phosphorique est dissous par l'acide carbonique de combinaisons difficilement solubles telles que la phosphorite. Une phosphorite d'Annaberg a perdu en acide phosphorique dans

Eau distillée	traces.
Eau avec acide carbonique. . . .	0,0019

D'après tous ces résultats, *l'humus exerce sur le sol une action*

1. A. Stöckhardt, *Chemischer Ackersmann,* 1873, p. 230.
2. K. Haushofer, *Journal für praktische Chemie,* vol. 103, p. 121.
3. A. Cossa, *idem.,* vol. 106, p. 381.

utile en ce que, grâce à l'acide carbonique formé, il favorise la décomposition et la dissolution de certains minéraux insolubles et contribue ainsi, à augmenter la réserve nutritive du sol.

La décomposition par l'acide carbonique des silicates précédents a pour conséquence la production non seulement de matières nutritives solubles, mais encore d'une certaine quantité d'argile et de silice qui forment avec les alcalis et les terres alcalines des sels doubles particuliers (zéolithes) et ces sels jouent un rôle important dans le sol lors de l'absorption chimique des matières nutritives.

Comme l'acide carbonique l'ammoniaque produite dans l'eremacausis provoque la dissolution de minéraux encore intacts, surtout si l'eau contient en même temps de l'acide carbonique. Ceci a été prouvé par Th. Dietrich qui a obtenu les chiffres suivants :

Quantité totale en grammes de matières minérales dissoutes dans 200 grammes.

	LEHM humifère.	LEHM calciné.	PORPHYRE.	BASALTE.	MICA.	PHOSPHORITE.
Eau distillée	0,039	0,085	0,020	0,016	0,020	0,032
Eau distillée avec carbonate d'ammoniaque	0,073	0,066	0,038	0,534	0,013	0,035
Eau avec acide carbonique et carbonate d'ammoniaque	0,128	0,118	0,058	0,667	0,045	0,050

De la phosphorite il s'est dissous dans

	ACIDE phosphorique.
Eau distillée	0,0019
Eau distillée avec carbonate d'ammoniaque	0,0052
Eau avec acide carbonique et carbonate d'ammoniaque	0,0032

Enfin, parmi les influences chimiques de l'humus, celle qu'il exerce en vertu de son pouvoir absorbant pour les matières nutritives est de la plus haute importance. L'énergie avec laquelle elles sont retenues par l'humus et soustraites à l'action dissolvante des eaux d'infiltration est très considérable, comme nous l'avons montré plus haut. Cette influence se fait surtout sentir dans les sols pauvres en argile, donc dans les sols légers, sablonneux qui, sans l'humus

fournissent de grandes quantités d'eau d'infiltration. Les sables riches en humus sont déjà, par ce seul fait, beaucoup plus fertiles que ceux dont le taux de matière organique est faible ou nul.

B) *Fonctions physiques de l'humus.* — Presque dans tous les cas l'humus exerce sur les propriétés physiques des sols minéraux une action extrêmement favorable, quoique différente. Relativement à la cohésion du sol, les expériences de H. Puchner[1] montrent nettement que l'humus diminue la cohésion dans tous les sols argileux. Avec un taux d'eau de 0, 20, 40 et 60 p. 100 de la faculté d'imbibition totale, la cohésion absolue d'un cylindre de terre de 3 centimètres de hauteur et 2 centimètres de diamètre a atteint en moyenne avec

Kaolin.	2/3 vol. Kaolin. 1/3 vol. Humus.	1/3 vol. Kaolin. 2/3 vol. Humus.
24 251 gr.	21 708 gr.	4 644 gr.

La ténacité du sol argileux diminue donc à mesure qu'il renferme plus d'humus. Avec le sable quartzeux, dont la cohésion est faible, on remarque une influence analogue de l'humus, mais dans ces sols elle est évidemment de peu d'importance.

L'humus diminue aussi la résistance que les sols, les sols compacts surtout, opposent au travail mécanique des instruments aratoires. La résistance aux instruments tranchants s'abaisse d'autant plus que la proportion d'humus dans le sol est plus grande. Avec un taux d'eau s'élevant de 0 p. 100 à 20 p. 100 de la faculté d'imbibition totale (de 20 p. 100 en 20 p. 100) la résistance à la rupture a été en moyenne pour

Kaolin.	2/3 vol. Kaolin. 1/3 vol. Humus.	1/3 vol. Kaolin. 2/3 vol. Humus.
9 833 gr.	5 713 gr.	2 281 gr.

L'adhérence de la terre aux instruments aratoires diminue aussi à mesure que le taux d'humus augmente. Par exemple, dans les expériences de J. Schachbasian[2] sur l'adhérence entre une plaque

1. H. Puchner, *Forschungen, etc.*, vol. XII, 1889, p. 195.
2. J. Schachbasian, *Forschungen, etc.*, vol. XIII, 1890, p. 193.

d'acier poli de 100 centimètres carrés et un sol modérément pressé contre elle, il a fallu pour la rompre un poids en grammes avec

Kaolin.	2/3 vol. Kaolin. 1/3 vol. Humus.	1/3 vol. Kaolin. 2/3 vol. Humus.	Quartz.	2/3 vol. Quartz. 1/3 vol. Humus.	1/3 vol. Quartz. 2/3 vol. Humus.
Pour un taux d'eau = 100 p. 100 de la faculté d'imbibition totale.					
3 347,4	2 068,4	1 913,8	1 956,8	1 810,6	1 632,2
Pour un taux d'eau = 80 p. 100 de la faculté d'imbibition totale.					
5 212,8	2 254,8	116,6	0	0	0

L'influence du taux d'humus sur le coefficient de frottement se manifeste, d'après les recherches du même auteur, de la manière suivante :

Coefficient de frottement en volume.

Humide.	Kaolin.	2/3 Kaolin. 1/3 Humus.	1/3 Kaolin. 2/3 Humus.	Sable.	2/3 Sable. 1/3 Humus.	1/3 Sable. 2/3 Humus.
Acier poli . . .	0,4335	0,4495	0,4850	0,8250	0,7930	0,7305

Nous voyons, d'après ces chiffres, que pour le kaolin (argile) le frottement augmenta d'une manière insignifiante avec le taux d'humus, tandis que le coefficient de frottement du sable, au contraire, baissa considérablement et proportionnellement au taux d'humus.

En comparant tous ces résultats, on arrive à conclure que *l'humus rend plus légers, plus faciles à cultiver, les sols minéraux, surtout les sols compacts.*

Une certaine proportion de matières organiques permet, en outre, l'établissement d'une structure normale du sol, comme celle qui consiste dans la mise en grumeaux, c'est-à-dire dans la formation de particules meubles et c'est pour l'obtenir qu'il faut une culture rationnelle du sol.

D'après les recherches de Th. Schlœsing[1] les humates ont la pro-

1. *Comptes rendus*, t. LXXIV, 1872, p. 1408.

priété de réunir en grumeaux les particules d'argile, de sable et de calcaire en jouant le rôle de ciment. Déjà 1 p. 100 d'acide humique, mélangé à de la chaux ou à de l'argile, était suffisant pour donner aux sols en question le degré de perméabilité en rapport avec la mise en grumeaux, et pour augmenter ainsi remarquablement leur perméabilité à l'air et à l'eau. De ces faits l'on peut conclure que *l'humus, outre ses autres bonnes qualités, possède encore celle d'ameublir les sols compacts.*

Parmi les autres effets qu'un taux variable d'humus exerce sur l'état physique des sols minéraux, ceux qui ont trait à la manière dont les sols se comportent vis-à-vis de l'eau, méritent une attention spéciale. Mes recherches[1] au moyen de lysimètres de 400 centimètres carrés de surface et de $0^m,30$ de haut ont donné, du 1er avril au 30 septembre, les résultats suivants :

Année.	Lehm.	3/4 Lehm. 1/4 Humus.	1/2 Lehm. 1/2 Humus.	1/4 Lehm. 3/4 Humus.	Sable.	3/4 Sable. 1/4 Humus.	1/2 Sable. 1/2 Humus.	1/4 Sable. 3/4 Humus.
Taux d'eau moyen des sols en volume p. 100.								
1882	34.35	38.96	39.48	43.12	11.68	22.71	29.78	38.93
1884	34.23	36.53	.37.28	38.99	12.34	19.72	25.27	34.09
Eau d'infiltration (en grammes) par 400 centimètres carrés de surface.								
1882	5 395	8 637	9 013	10 117	16 638	17 217	14 228	12 207
1884	5 991	7 295	7 098	7 596	13 256	14 065	13 155	11 044
Quantité d'eau évaporée (grammes) par 400 centimètres carrés de surface.								
1882	15 718	14 224	13 808	13 324	7 893	6 854	9 503	11 687
1884	14 373	12 949	13 256	12 409	7 198	6 039	6 706	9 060

Les mélanges ont été faits d'après le volume ; l'humus a été employé sous forme de poudre de tourbe.

Ces chiffres montrent avec évidence :

1° Que l'élévation du taux d'humus dans des mélanges de lehm et de sable a pour résultat une augmentation de l'humidité de la masse, augmentation beaucoup plus grande dans le sable que dans le lehm.

1. E. Wollny, *Forschungen, etc.*, vol. XVIII, 1895, p. 27.

Ceci se constate lorsqu'on calcule les rapports (pour 1884) des chiffres précédents au lehm ou au sable pur :

Lehm.	3/4 Lehm. 1/4 Humus.	1/2 Lehm. 1/2 Sable.	1/4 Lehm. 3/4 Sable.	Sable.	3/4 Sable. 1/4 Humus.	1/2 Sable. 1/2 Humus.	1/4 Sable. 3/4 Humus.
—	—	—	—	—	—	—	—
1	1,07	1,09	1,14	1	1,60	2,05	2,76

La cause de cette progression caractéristique que nous observons dans ces chiffres tient essentiellement à ce que les facultés d'imbibition du lehm et de l'humus se ressemblent beaucoup plus que celles du sable et de l'humus. Ces deux éléments du sol doués d'une grande faculté d'imbibition s'influenceront dans leur mélange beaucoup moins que le feraient le sable et l'humus, dont le premier absorbe très peu et le dernier beaucoup d'eau. Pourquoi l'humus n'a-t-il exercé qu'une si faible influence sur la faculté d'imbibition des mélanges de lehm, c'est ce qui n'est pas encore suffisamment élucidé, car les différences dans la faculté d'imbibition des éléments considérés sont encore assez grandes. La raison pour laquelle, dans le mélange d'humus et de lehm, le taux d'eau varie moins tient à ce que la terre a formé alors des grumeaux bien nets qui ont diminué la faculté d'imbibition et augmenté la perméabilité du sol pour l'eau.

On peut encore conclure des chiffres précédents que :

2° *Dans les mélanges avec lehm les quantités d'eau qui s'infiltrent sont d'autant plus grandes que le taux d'humus est plus élevé,* tandis que *dans les mélanges avec sable c'est le contraire qui a lieu.*

Si la perméabilité des mélanges avec lehm augmente avec le taux d'humus, cela tient d'une part à la plus grande perméabilité de l'humus comparé à l'argile, et de l'autre à la formation de grumeaux produite par l'humus. Quant au sable, le fait s'explique parce que la faculté d'imbibition augmente avec te taux d'humus, et que la perméabilité du mélange diminue dans la même mesure. Si dans le mélange de 3/4 de volume de sable et 1/4 de volume d'humus il y a eu plus grande perméabilité que dans le sable pur, c'est parce que justement dans ce mélange la mise en grumeaux a été plus accentuée.

Enfin, nous concluons que :

3° *Dans les mélanges avec lehm les quantités d'eau évaporée sont*

d'autant plus petites qu'ils sont plus riches en humus, et qu'au contraire *dans les mélanges avec sable l'évaporation augmente avec le taux d'humus.*

Pour l'explication de ces faits, rappelons que la circulation de l'eau dans le lehm se ralentit à mesure que le taux d'humus augmente, et que l'eau évaporée est plus difficilement remplacée. D'abord, l'humus conduit l'eau moins rapidement que le lehm et, en outre, le sol se dispose en grumeaux qui entravent l'ascension de l'eau vers la surface. L'évaporation est donc inversement proportionnelle à l'infiltration, de sorte qu'en moyenne leurs effets s'équilibrent presque, et dans le taux d'eau des substances c'est surtout leur faculté d'imbibition qui s'exprime.

L'effet de l'humus sur le plus ou moins d'humidité des sols de culture se manifeste surtout, d'après ce que nous venons de voir, par ceci que les sols légers, dans lesquels les plantes souffrent facilement du manque d'eau, deviennent plus humides et par conséquent plus fertiles, tandis que ceux qui sont compacts et qui retiennent bien l'eau deviennent plus perméables.

La température du sol se modifie suivant son taux d'humus comme on le voit par mes chiffres[1] ci-dessous :

Lehm.

JUILLET 1883.	TEMPÉRATURE DU SOL A 15 CENTIMÈTRES de profondeur.				OSCILLATION DE LA TEMPÉRATURE.			
	Lehm.	3/4 Lehm. 1/4 Humus.	1/2 Lehm. 1/2 Humus.	1/4 Lehm. 3/4 Humus.	Lehm.	3/4 Lehm. 1/4 Humus.	1/2 Lehm. 1/2 Humus.	1/4 Lehm. 3/4 Humus.
1- 5	21,58	21,65	21,80	21,92	8,5	8,3	8,0	5,2
6-10	22,36	22,42	22,44	22,53	6,9	7,3	6,1	4,3
11-15	21,24	20,95	20,97	21,17	8,1	7,7	7,4	6,8
16-20	14,94	15,25	15,34	15,57	4,6	4,0	3,9	3,5
21-25	15,82	15,94	15,93	15,98	6,9	6,1	5,6	5,2
26-31	15,37	15,35	15,40	15,57	6,6	5,0	4,5	3,9
Moyenne	18,49	18,49	18,54	18,68	6,93	6,40	5,92	4,82

1. L'humus a été employé sous forme de tourbe pulvérisée. Les températures ont été prises quotidiennement à 7 heures du matin et à 4 heures du soir.

Sable.

	TEMPÉRATURE DU SOL A 15 CENTIMÈTRES de profondeur.				OSCILLATION DE LA TEMPÉRATURE.			
	Sable.	3/4 Sable. 1/4 Humus.	1/2 Sable. 1/2 Humus.	1/4 Sable. 3/4 Humus.	Sable.	3/4 Sable. 1/4 Humus.	1/2 Sable. 1/2 Humus.	1/4 Sable. 3/4 Humus.
Juillet 1883 :								
1- 5	23,79	23,60	23,44	22,86	11,0	9,8	9,0	6,3
6-10	23,75	23,62	23,51	23,10	9,2	8,2	7,2	4,8
11-15	21,62	21,74	21,74	21,83	11,9	10,5	9,3	7,2
16-20	15,22	15,41	15,46	15,65	5,7	5,3	4,9	4,1
21-25	16,46	16,40	16,27	16,13	11,3	11,2	8,5	6,2
26-31	16,12	16,08	15,88	15,82	9,8	9,1	7,2	4,6
Moyenne	19,38	19,36	19,27	19,12	9,82	8,85	7,68	5,3

	TEMPÉRATURE DU SOL A 15 CENTIMÈTRES DE PROFONDEUR.							
	Lehm.	3/4 Lehm. 1/4 Humus.	1/2 Lehm. 1/2 Humus.	1/4 Lehm. 3/4 Humus.	Sable.	3/4 Sable. 1/4 Humus.	1/2 Sable. 1/2 Humus.	1/4 Sable. 3/4 Humus.
Nov. 1883 :								
1- 5	7,06	7,23	7,30	7,34	6,97	6,96	7,20	7,26
6-10	7,52	7,60	7,71	7,76	7,39	7,38	7,62	7,68
11-15	3,58	3,82	4,01	4,22	3,19	3,34	3,93	4,39
16-20	1,29	1,65	1,70	1,87	1,58	1,65	1,84	1,98
12-25	2,42	2,68	2,81	2,69	2,37	2,42	2,65	2,59
26-30	2,57	2,99	2,94	3,01	2,98	2,98	2,96	2,94
Moyenne	4,07	4,33	4,41	4,48	4,08	4,12	4,37	4,47

Si l'on considère d'abord les observations faites pendant la saison chaude, on voit que l'influence de l'humus sur la température du sol est très faible dans les pentades et dans les moyennes mensuelles. Avec l'augmentation du taux d'humus on remarque une tendance à l'élévation de la température dans le lehm, et à son abaissement dans le sable ; mais les différences sont très légères. Que pourtant il doive y avoir des différences notables dans la marche de la chaleur du sol, c'est ce qui ressort clairement des chiffres relatifs aux oscillations de la température ; on les voit diminuer à mesure que le taux d'humus augmente dans le sol. Il doit donc se trouver dans le réchauffement

du sol certaines singularités qui ne ressortent pas dans les moyennes. En effet, c'est ce que l'on voit lorsque l'on jette un coup d'œil sur le tableau suivant où on a noté séparément les observations du soir et celles du matin.

Température du sol à 15 centimètres de profondeur.

JUILLET 1883.	Lehm.		3/4 Lehm. 1/4 Humus.		1/2 Lehm. 1/2 Humus.		1/4 Lehm. 3/4 Humus.	
	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.
1- 5	18,12	25,04	18,52	24,17	19,16	24,44	20,12	23,72
6-10	19,48	25,24	19,72	25,08	20,22	24,62	20,96	24,10
11-15	19,02	23,46	19,00	22,90	19,32	22,62	19,84	22,50
16-20	13,98	16,10	14,42	16,08	14,60	16,08	14,98	16,16
21-25	14,32	17,32	14,78	17,10	14,88	16,98	15,14	16,82
26-31	13,59	17,15	14,03	16,67	14,18	16,62	14,56	16,58
Moyenne . . .	**16,38**	**20,60**	**16,67**	**20,31**	**16,97**	**20,11**	**17,49**	**19,87**
Différence. . .	4,22		3,64		3,14		2,38	

Température prise à 15 centimètres de profondeur.

JUILLET 1883.	Sable.		3/4 Sable. 1/4 Humus.		1/2 Sable. 1/2 Humus.		1/4 Sable. 3/4 Humus.	
	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.
1- 5	18,72	28,86	19,46	27,74	19,82	27,06	20,56	25,26
6-10	19,84	27,66	20,48	26,76	20,82	26,20	21,38	24,82
11-15	18,66	24,58	19,08	24,40	19,36	24,12	20,18	23,48
16-20	13,60	16,84	14,02	16,80	14,30	16,62	14,92	16,38
21-25	14,12	18,80	14,34	18,46	14,60	17,94	15,08	17,18
26-31	13,62	18,62	13,69	18,47	13,96	17,80	14,59	17,05
Moyenne . . .	**16,38**	**22,40**	**16,73**	**21,99**	**17,04**	**21,50**	**17,66**	**20,58**
Différence. . .	6,02		5,26		4,46		2,92	

Ces chiffres prouvent que le maximum de la température (soir) est d'autant plus élevé que le sol contient moins d'humus, et réciproquement le minimum (matin) est d'autant plus élevé que le taux

d'humus du sol est plus grand[1]. Comme l'échauffement du sol varie avec les changements de temps et de saisons, suivant que la température monte ou descend, on peut dire, d'une manière générale, que, *par une température croissante et élevée, le sol se réchauffe d'autant plus faiblement,* et, réciproquement, *par une température décroissante et basse le sol se refroidit d'autant plus lentement que les quantités d'humus dans le sol sont plus grandes.* Suivant les circonstances extérieures, la variation de la température du sol avec divers taux d'humus sera très inconstante ; néanmoins, en général, l'échauffement du sol sera d'autant plus ralenti par les temps chauds, d'autant plus prolongé par les temps froids[2] que l'humus existera dans le sol en plus grande quantité.

D'après tout cela, l'action de l'humus sur la chaleur du sol peut se résumer ainsi : *il diminue, dans certaines limites, les oscillations de la température du sol provenant des variations des facteurs extérieurs.*

Il reste encore à élucider si la couleur foncée, produite par l'addition de certaines quantités d'humus, a une influence favorable sur l'échauffement du sol[3]. Elle est réelle, tant que le taux de substances organiques ne dépasse pas une certaine limite, c'est-à-dire tant que, par l'addition d'humus, on n'augmente pas sensiblement la chaleur spécifique du sol ni qu'on ne diminue pas sa conductibilité. Mais si le taux d'humus est assez élevé pour influer sur ces deux propriétés, alors le sol minéral clair peut, comme nous l'avons vu plus haut, être plus favorisé par les températures croissantes et élevées, et l'influence de la coloration peut être sans action.

C) La *fermentation du sol* (Bodengahre) peut être légitimement étudiée ici puisque c'est un état du sol agricole qui est principalement dû au concours de ses éléments organiques, et qui se ramène à une modification des propriétés physiques et chimiques favorable au développement des plantes. Si différent que paraisse cet état de

---

1. C'est pour cela que la différence entre le maximum et le minimum de la température du sol diminue à mesure qu'augmente le taux d'humus.

2. Comparez les observations de la température de novembre 1883.

3. E. Wollny, *Forschungen, etc.*, vol. I, 1878, p. 43.

celui qu'on nomme « Ackergahre », ce n'est en réalité qu'un seul et même phénomène, c'est-à-dire un certain degré de porosité et d'humidité des sols après une fumure fraîche ou après qu'on a déchaumé ou retourné les prairies naturelles ou artificielles.

Le sol apparaît friable et grumeleux; il est facilement perméable à l'air, se distingue par son taux d'eau normal et modéré, enfin il est pourvu plus ou moins abondamment des substances nutritives nécessaires à l'accroissement des plantes utiles.

Comme cause de cette modification des sols agricoles, on invoque souvent un ameublissement spontané qui serait dû à une décomposition accélérée des éléments humiques ou des engrais d'origine organique et à l'action des grandes quantités d'acide carbonique qui en résultent. Une pareille distension du sol ne serait possible que si ce dernier, semblable à la pâte de pain, formait une masse s'opposant à la sortie de l'acide carbonique. Mais ce n'est pas le cas; le sol, grâce à la porosité provoquée par cette fermentation, est dans un état qui justement facilite considérablement la sortie de l'acide carbonique; il est donc impossible d'admettre l'idée d'un ameublissement spontané du sol. L'expérience montre au contraire et diverses recherches[1] ont établi par des chiffres que le sol arable meuble, qui n'est pas labouré pendant un certain temps, voit son volume diminuer constamment par la pression des couches supérieures sur celles situées au-dessous, et surtout par l'effet mécanique de la pluie; il devient plus compact, de sorte qu'il est souvent nécessaire de le labourer fréquemment, s'il n'est pas couvert, pour lui conserver son ameublissement.

Si nous réfléchissons au fait déjà mentionné, que, par suite de la température relativement plus élevée et du taux d'eau supérieur des sols nus ou couverts d'une couche de fumier, la décomposition des matières organiques s'y produit plus vite et plus intensément que dans le sol couvert de plantes vivantes, nous pourrons conclure de suite que ce que l'on nomme *Ackergahre*[2] désigne *un état physique du sol de culture, provoqué surtout par le maintien de la ja-*

---

1. E. Wollny, *Forschungen, etc.*, vol. XII, 1889, p. 31.
2. Ce terme n'a pas d'équivalent en français. (*Trad.*)

chère ou d'une couverture morte et par un ameublissement consécutif en temps utile et au moyen de la charrue et de l'extirpateur, état qui favorise la décomposition des éléments humiques ou du fumier.

Tous les auteurs agronomiques sont d'avis que la jachère est la condition la plus importante pour arriver à cet état particulier du sol qui ne s'obtient point par force en peu de temps et par de simples travaux aratoires, mais qui exige une période plus ou moins longue.

Le sol arable est donc obligé de se reposer pendant un certain temps avant d'être apte à cet état particulier. Pour connaître comment agissent dans ce cas les forces de la nature, prenons l'exemple suivant.

Qu'on se figure un chaume de trèfle en sol compact. Celui-ci, par suite de la forte évaporation du trèfle et de la sécheresse, est tellement durci qu'il est impossible d'y pénétrer avec le soc de la charrue. Ce sol doit être mis en état d'ameublissement (*Gahre*) à partir de la fin juin jusqu'à l'automne. Dans ces conditions il paraît logique d'après le procédé recommandé par Schwerz et plus tard par de Rosenberg-Lipinski de racler superficiellement le sol, afin d'en détruire la couverture végétale. Il se forme ainsi à la surface une couche riche en vides dits « non capillaires » et en débris végétaux, qui laissera passer facilement l'eau des pluies tout en diminuant considérablement l'évaporation pendant la sécheresse.

Le sol qui est au-dessous de cette mince couche labourée deviendra avec le temps plus humide, surtout si l'on a eu soin de la herser pour l'ameublir. Tandis qu'au début il était impossible d'enfoncer un bâton dans ce sol durci par la sécheresse, on le peut maintenant, non pas, comme l'admet de Rosenberg-Lipinski, parce que le sol s'est ameubli de lui-même sous sa couverture, mais parce qu'il est devenu plus humide et n'offre plus à cet état de résistance sérieuse[1].

Quand l'humidité a pénétré assez profondément, on laboure le sol qui possède alors son taux normal d'humidité, celui qui lui donne la

1. H. Puchner, *Forschungen, etc.*, vol. XII, 1889, p. 208.

plus faible adhérence ; le mieux est de labourer en sillons aussi étroits que possible et à pleine profondeur ; on l'amène ainsi à un état grumeleux, poreux que l'on cherche à conserver surtout si de fortes averses l'ont altéré en employant les extirpateurs qui paraissent très propres à cet usage.

Le sol a ainsi reçu indirectement par la jachère et par la couche superficielle retournée formant obstacle à l'évaporation l'eau qui lui manquait, et par un labour en temps utile il a acquis la structure grumeleuse des sols ameublis. Il reste dans la suite constamment humide, plus ou moins, parce que le maintien en jachère et l'état grumeleux du sol le préservent d'une trop forte dessiccation. Les substances organiques, aussi bien celles qui se trouvent primitivement dans le sol que celles, telles que le fumier, qui y sont incorporées par la charrue, peuvent facilement se décomposer et fournir jusqu'au moment des semailles d'hiver d'assez grandes quantités de matières nutritives solubles ; car le sol se trouve alors dans l'état physique le plus favorable : il est perméable et, en outre, humide, puisqu'il ne possède pas de couverture. De cette manière, le sol a vu non seulement s'améliorer considérablement sa composition mécanique et son taux d'eau, mais encore il est devenu plus riche en matières nutritives assimilables.

Les explications qui précèdent montrent les conditions nécessaires pour mettre le sol dans l'état le plus favorable au développement des processus organiques. Ces conditions sont applicables non seulement aux cas précités, mais encore à tous ceux où il s'agit d'une culture rationnelle de la couche végétale. Ce traitement sera d'un très grand intérêt non seulement pour les sols compacts, c'est-à-dire argileux ou autres semblables, qui ont déjà par eux-mêmes une tendance à se mettre en grumeaux, mais encore il est recommandable pour les sols légers qui ne se mettent pas en grumeaux, en ce qu'il augmente le taux d'eau du sol et son aptitude à l'échauffement et provoque même sur ces sols, d'après les praticiens, une sorte de fermentation (*Gahre*).

Tant que, parmi les praticiens, régneront, au sujet des influences de la couverture végétale et de la jachère sur les agents de la décomposition des matières organiques, les idées les plus embrouil-

lées en contradiction avec les faits réels et que les résultats des nombreuses recherches faites sur ces questions resteront méconnus, il sera impossible d'avoir une vue nette des phénomènes. Aucun sujet d'économie rurale n'a fourni matière jusqu'ici à autant d'inepties. Cela s'explique parce qu'on part de l'idée complètement erronée, ne reposant sur rien, que la couverture végétale maintient le sol humide, tandis que la jachère le dessèche.

Dès lors il n'était pas possible d'expliquer d'une manière simple comment la jachère favorisait la décomposition des matières organiques et l'ameublissement du sol, et il fallait recourir à l'hypothèse que l'ameublissement du sol aurait pour cause une condensation de la chaleur, de l'air et de l'humidité, même dans les cas où le sol n'a pas été cultivé et se trouve à l'état naturel. Si l'on considère que les gaz atmosphériques et l'humidité ne sont condensés en quantités un peu importantes que par un sol déjà meuble et que la vapeur d'eau de l'atmosphère ne mouille nullement le sol arable, puisqu'elle s'évapore à nouveau quand la température augmente[1], on ne comprend pas comment, dans un sol compact, ameubli seulement à la surface, il puisse se produire une condensation d'air et d'humidité, ou comment un sol ameubli, mais sec, puisse s'humecter au degré nécessaire pour la mise en train des processus organiques.

De même, les opinions sur ce qu'on appelle « la fermentation à l'ombre » (*Beschattungsgahre*) ne correspondent pas à la réalité des faits.

En partant de l'idée fausse que la couverture végétale maintient l'humidité du sol, on a cru pouvoir conclure que la décomposition des substances organiques est particulièrement active dans le sol labouré et provoque ainsi l'ameublissement spontané du sol.

Mais nous avons vu plus haut qu'en réalité c'est le contraire qui se passe et que, grâce à la dessiccation du sol par les plantes et à la basse température, l'intensité des processus organiques diminuait notablement. Si c'était possible, l'état meuble du sol sous une couverture végétale épaisse ne pourrait être provoqué par une « fermentation (*Gährung*). On ne pourra constater une augmentation du degré

1. S. Sikorski, *Forschungen, etc.*, vol. IX, 1886, p. 413.

d'ameublissement du sol sous les plantes, mais seulement son maintien plus ou moins constant. L'ameublissement produit avant les semailles par le travail mécanique du sol diminue aussi bien dans le sol ombragé par les plantes que dans celui qui est en jachère, pas à beaucoup près cependant autant dans le premier que dans le dernier ; il diminue d'autant moins que les plantes sont mieux développées et plus drues[1].

Cela tient à ce que la couverture végétale atténue considérablement l'effet des pluies qui démolissent la structure grumeleuse du sol. La pluie tombant d'abord sur les plantes stille ensuite goutte à goutte sur le sol : lorsqu'elle le frappe directement avec violence, elle désagrège les particules de terre qui, alors, forment une croûte superficielle.

Il ne peut donc être question d'une fermentation provoquée par les plantes et d'un ameublissement qui y serait lié, mais seulement du maintien de l'état mécanique originairement favorable du sol, grâce à l'obstacle mis par les végétaux à la démolition des particules par les pluies.

D) L'*effet nuisible de quantités excessives d'humus* sur la fertilité du sol doit être surtout attribué aux trop grandes accumulations d'eau qui se produisent dans ces conditions et à leurs conséquences (diminution de l'accès de l'air). Il se fait remarquer principalement quand le sol n'est pas cultivé (prairies), ou qu'il se trouve dans les conditions favorisant l'accumulation d'eau en excès (marais). Dans ce cas, les matières organiques sont soumises à la putréfaction, mode de décomposition qui diminue singulièrement, comme nous l'avons vu plus haut, la formation des éléments nutritifs assimilables qu'elles peuvent contenir et qui favorise au contraire la production de composés nuisibles à la végétation, tels que les acides humiques, le sulfate de fer, etc.

E) L'*importance de l'humus pour la culture du sol* peut s'apprécier suffisamment d'après ce que nous venons de dire. Tant qu'il se trouve

1. E. Wollny, *Forschungen, etc.*, vol. XII, 1889, p. 31.

mélangé aux sols minéraux dans certaines limites, son rôle est d'une telle importance pour la vie des plantes que *l'on peut considérer, dans la majorité des cas, la conservation et l'augmentation du taux d'humus comme le devoir le plus important de la culture du sol.*

Cette conclusion paraît pleinement justifiée si l'on se rappelle les nombreux effets favorables de l'humus sur la fertilité du sol. Ainsi que nous l'avons vu, c'est lui qui augmente directement et indirectement la richesse du sol en matières nutritives assimilables, et qui, par sa lente décomposition et son pouvoir absorbant considérable, obvie efficacement à la perte des éléments nutritifs par la lixiviation.

On a montré en outre que l'humus, mélangé aux terres, les rend plus meubles et plus faciles à travailler; les sols compacts deviennent perméables, plus faciles à s'humecter; les eaux d'infiltration diminuent donc et les conditions thermiques sont modifiées heureusement par l'atténuation des extrêmes de température.

Il suffit de se représenter toutes ces influences pour comprendre qu'en réalité il est absolument nécessaire, pour obtenir des récoltes maxima, que le sol possède un taux d'humus assez élevé. En même temps on saisit l'importance de *tous les engrais d'origine organique* (fumiers, compost, engrais verts, etc.). Puisque c'est par eux seulement que l'on peut satisfaire à la nécessité de maintenir et d'augmenter le taux d'humus dans le sol arable, *on doit les considérer comme les engrais principaux indispensables.* Dans les sols très humiques on n'aura pas besoin de ces engrais, et l'on pourra conserver à ce sol son plus haut degré de fécondité en employant exclusivement des engrais artificiels; *dans tous les autres cas, de beaucoup les plus nombreux, on n'atteindra le maximun de récoltes qu'en employant d'une façon continue des engrais riches en matière organique.*

L'inobservation de cette règle fondamentale et l'emploi exagéré d'engrais artificiels qui, d'après ce que nous venons de dire, ne peuvent être considérés que comme des engrais accessoires auxquels on a recours dans certaines insuffisances de composition des engrais principaux, pour satisfaire aux exigences des plantes à cultiver, ont amené, dans beaucoup d'endroits, une diminution considérable dans la production de sols autrefois fertiles, bien qu'ils continssent encore

une riche provision de substances nutritives. Cela ne tient pas seulement à l'appauvrissement du sol en matière organique et à la détérioration de ses propriétés physiques et chimiques qui en est la conséquence, mais encore à ce que les sels facilement solubles contenus dans les engrais artificiels influent défavorablement sur la structure de la couche arable.

Les recherches de A. Mayer[1] et de E. W. Hilgard[2] montrent que les carbonates et les phosphates alcalins provoquent la compacité des sols et empêchent leur mise en grumeaux, tandis que les chlorures (sels de Stassfurt) et les nitrates (salpêtre du Chili) la favorisent tant qu'ils se trouvent dans la solution du sol ; mais, dès qu'ils sont dissous par l'eau d'infiltration (ce qui est d'autant plus facile que le sol n'exerce pas sur eux son pouvoir absorbant), il en résulte la formation désavantageuse d'un limon compact[3], tellement compact qu'il est complètement inaccessible à l'air et à l'eau, ce qui amène une diminution considérable de la fertilité. Ces changements défavorables se montrent clairement par exemple dans l'état physique des sols argileux qui ne reçoivent jamais que des nitrates. « Un sol forcé de cette manière donne, on le sait, au début, de belles récoltes, puis subitement apparaît une diminution qui, d'après les praticiens expérimentés, ne peut plus être simplement combattue par un engrais complet comme pour les sols sablonneux. Ce sol est pour longtemps ruiné dans son état physique, et c'est pour cela que les Anglais, très experts en agronomie, ont complètement abandonné les fumures de nitrates. » (A. Mayer.) Les chlorures agissent de la même façon.

L'emploi exclusif ou principal d'engrais artificiels est doublement nuisible à la fertilité surtout des sols argileux et à grains fins, d'abord parce que, par cette pratique, les terres s'appauvrissent en humus, qui se détruit peu à peu, ensuite parce que l'état physique de ces sols subit, comme on l'a vu plus haut, une transformation très défavorable au point de vue de la décomposition des matières organiques

1. A. Mayer, *Forschungen, etc.*, vol. II, 1879, p. 251.
2. J. W. Hilgard, *idem*, vol. II, 1879, p. 441.
3. A. Mayer, *Journal für Landwirtschaft*, année XXVII, 1879, p. 389.

et de la croissance des plantes. *On ne peut remédier à ces défauts qu'en prenant soin de conserver et d'augmenter le taux d'humus dans le sol par des mesures appropriées.*

Dans les cas enfin où un excès d'humus est nuisible à la croissance des plantes utiles, il faut veiller ou bien à diminuer cet excès ou bien à transformer les propriétés nuisibles de l'humus de manière qu'il réponde aux exigences des végétaux que l'on cultive. Quant aux moyens à employer, nous les verrons dans la troisième partie de ce livre.

ROTHAMSTED

UN DEMI-SIÈCLE D'EXPÉRIENCES AGRONOMIQUES

De MM. LAWES et GILBERT

Par A. RONNA

INGÉNIEUR

MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR D'AGRICULTURE

PRÉFACE

L'œuvre de Rothamsted est de celles qui s'affirment d'elles-mêmes, autant par les services inappréciables rendus à la science agronomique, que par les progrès incessants que l'agriculture britannique, en particulier, a réalisés, en la prenant pour guide. Elle embrasse plus d'un demi-siècle, et remonte dès lors à l'origine de nos connaissances sur le rôle de l'atmosphère, du sol et des engrais dans la culture des plantes qui font l'objet de nos récoltes.

S'il n'y a pas d'autre exemple, dans les annales de la science, d'une collaboration aussi assidue et aussi éclairée, aussi longue et aussi féconde, que celle des deux savants de Rothamsted, MM. Lawes et Gilbert, il n'y en a pas non plus d'une rigueur et d'une ordonnance aussi parfaites dans la conduite des expériences culturales. L'œuvre de Rothamsted n'est donc pas seulement unique en son genre ; elle est et demeurera un modèle dont aucun agronome ne saurait s'écarter à l'avenir sans compromettre les résultats de ses essais, ou les améliorations qu'il entend apporter à son exploitation.

En 1876, comme suite à de nombreux articles publiés dans le

Journal d'Agriculture pratique[1], que nous réunissions en un volume, avec quelques chapitres inédits, nous avions cherché à vulgariser, pour la première fois, les recherches poursuivies pendant trente années sans interruption à Rothamsted. Les mémoires publiés à cette époque atteignaient le nombre de 45, sans y comprendre ceux ayant trait à l'alimentation et à l'engraissement du bétail, à la production de la viande, du lait et du fumier, à l'ensilage, etc.; aujourd'hui, on en compte plus d'une centaine, et nous reprenons la tâche d'il y a vingt ans, pour la mener au point où MM. Lawes et Gilbert la laissent en 1899, sans sacrifier pour cela aucune des expériences, des recherches et des observations précieuses, recueillies pendant la première période trentennale.

A la veille de l'inauguration de l'Exposition universelle de 1900, les agronomes nous sauront gré, nous l'espérons, d'avoir voulu combler une lacune, en leur présentant de nouveau le résumé, quelque incomplet qu'il soit, des travaux de Rothamsted, et consacrer par un souvenir durable les bienfaits considérables que la science expérimentale a rendus à l'agriculture pendant le siècle qui vient de s'écouler.

LIVRE I. — ROTHAMSTED

On se rend en une heure et demie environ, par chemin de fer, de Londres à Rothamsted (45 kilomètres). Aux gares métropolitaines de Saint-Pancras ou de Moorgate, on trouve nombre de trains par jour pour Harpenden, la station la plus rapprochée de Rothamsted. Le voyage s'accomplit à travers les faubourgs interminables de la capitale, Camden et Kentishtown, puis Hampstead; à droite, Hendon, résidence de lord Tenterden; à gauche, Edgeware et Cannons Park, séjour favori des anciens ducs de Chandos; au loin, le prieuré de Bentley avec son vaste parc, où habite le marquis d'Abercorn, et Moor Park, à lord Ebury. On entre à Elstree seulement, dans le

1. *Journal d'Agriculture pratique,* 38e année, II, 1874; 39e année, I, 1875; 40e année, I et II, 1876.

comté de Hertford, parsemé, comme celui de Middlesex, de châteaux, de maisons de plaisance et de jardins, et l'on atteint bientôt Saint-Albans, laissant en vue Aldenham house, Woodhall et Tittenhanger Park, au comte de Hardwick.

Saint-Albans est une station principale de la ligne qui va par Luton à Bedford, où la Société royale d'agriculture tenait en 1874 son grand concours ; où se font remarquer les importantes fabriques d'instruments, le bétail et les belles cultures de MM. Howard. C'est une très vieille cité que Saint-Albans avec ses 9 000 habitants ! Son origine remonte à la *Verulamium* des Romains ; et l'on retrouve aux alentours d'intéressants vestiges de cette époque. Un lord Verulam habite encore près de là, à Gorhambury Park, où vivaient au XVIe siècle le *lord Keeper* (garde du grand sceau) de la reine Élisabeth, et son illustre fils, François Bacon de Verulam, dont le monument orne l'église de Saint-Michel. A Saint-Albans, comme dans tout le pays environnant, prospéraient jadis les institutions monastiques, et, pour qui vient du côté de Watford, la vieille église abbatiale des bénédictins frappe les regards par son grand air de cathédrale. C'est aujourd'hui ce qui reste, ou à peu près, de la fondation faite par Offa, roi des Merciens, en l'honneur du saint Albans. Comme par une sorte d'ironie de l'histoire, ce même pays fut le théâtre des sanglants combats des Deux Roses, entre Richard, duc de York, et Henri VI (1455) ; entre Marguerite d'Anjou et le comte de Warwick (1461) !

Mais laissons les souvenirs de cette lutte fratricide et poursuivons notre chemin en songeant aux bénédictins dont le labeur éclairé et patient reparaît aujourd'hui, comme au moyen âge, à Rothamsted (encore une ancienne abbaye !). La science d'observation infatigable, animée par l'esprit moderne, a entassé là des travaux qui, pour avoir été imparfaitement vulgarisés en France, n'en ont pas moins droit au premier rang dans la science agronomique.

Passé Saint-Albans, on descend à Harpenden, petit village de quelques milliers d'âmes, où le docteur Gilbert occupe une de ces habitations à l'aspect simple et modeste, mais si éminemment confortable, dont nos voisins ont le secret.

De là, on a bien vite gagné à pied les terres de Rothamsted, comprises dans la paroisse de Harpenden, et le manoir de M. Lawes.

Fig. 1. — Manoir de Rothamsted; résidence de sir John Bennet Lawes.

La date de sa construction remonte à l'an 1470 ; mais l'édifice a été remanié à différentes époques. Le propriétaire actuel l'a augmenté sur une des ailes, de manière toutefois à conserver le caractère de l'ancien prieuré des Wittewronge, qui s'étaient réfugiés dans le comté de Buckingham, à la suite des persécutions religieuses des Flandres, leur pays d'origine. Le mariage d'une demoiselle Mary Bennet avec un baronnet Wittewronge, à défaut de descendance mâle, assura la transmission du domaine à la famille Bennet.

Malgré le lierre et les plantes grimpantes qui tapissent les murs et masquent les lignes de l'édifice, l'architecture atteste l'empreinte monacale (fig. 1). Au dedans, les vastes salles de congrégation avec leur mobilier, leurs boiseries et sculptures du temps passé, réparées, entretenues soigneusement, disent bien quels étaient les premiers seigneurs du lieu. Au dehors, le parc avec ses avenues d'arbres séculaires, ses charmilles sans rivales, que le propriétaire a peuplées de myriades d'oiseaux, en leur offrant toutes les variétés imaginables de nids, ses grandes pelouses au gazon toujours vert et frais tondu, ses corbeilles parées, ses eaux courantes, renoue la chaîne du passé au temps présent.

Nous n'aurions rien dit de Rothamsted si nous omettions, en quittant le seuil, de mentionner, comme ils le méritent, l'hospitalité gracieuse du vénérable châtelain et l'accueil cordial réservé par sa famille au visiteur étranger qu'entourent les séductions du bien-être britannique.

1. — La ferme de Rothamsted.

La ferme et les bâtiments d'exploitation sont à peu de distance du parc. Ils n'offrent rien, avouons-le, qui soit digne d'une visite spéciale ; ni écuries de pur-sang, ni bêtes à cornes primées, ni porcheries médaillées, que l'on doive comparer à celles des grands propriétaires ou tenanciers voisins. Il y a bien des étables et des écuries, des boxes à engrais et des emplacements de meules ; mais ce qui attire plus que tout l'attention, c'est le laboratoire, charmant édifice dû à la libéralité des agriculteurs reconnaissants, et que l'on aperçoit à côté du parc, vers les cultures.

Il ne s'agit pas, en effet, à Rothamsted, d'animaux de race ou d'en-

grais, vivant de fourrages, à convertir en viande, en lait ou en laine ; ni de fumier servant de base à l'économie de l'exploitation ; mais bien de machines et d'instruments perfectionnés pour la préparation du sol ; de troupeaux de pacage temporaire pour la fumure ; et d'engrais complémentaires, nitrates et phosphates, substitués, le plus souvent, au fumier de ferme, dans certaines cultures dominantes. En d'autres termes, ce n'est pas de la ferme anglaise, comparée à une manufacture de fourrages, ni du système pastoral, qu'il est question, mais bien de la culture des céréales. Tout y repose, d'ailleurs, sur la méthode expérimentale, et la ferme n'est, à vrai dire, qu'un vaste laboratoire de culture.

Les terres de Rothamsted sont à la limite des argiles plastiques qui comprennent les sables, les glaises et les lignites dont le grand bassin crétacé de Londres est recouvert.

Une partie de ces terres a été consacrée entièrement, depuis 1843, aux essais de culture, dans le but d'élucider des problèmes relatifs aux engrais et aux récoltes. Sur une autre partie, quelques pièces ont reçu moins d'engrais qu'elles n'en eussent exigé pour donner des récoltes luxuriantes ; tandis que d'autres pièces ont reçu plus d'engrais qu'il n'eût fallu en mettre, en tenant compte de la moyenne des saisons. La question du prix de revient ne saurait être invoquée pour juger, dans ce cas, de la culture expérimentale, bien que celle-ci ait fourni des données économiques de la plus grande importance sur le meilleur mode de fumure applicable dans la pratique ordinaire.

Quand on veut exposer les améliorations agricoles réalisées en Angleterre pendant ce dernier demi-siècle, on insiste surtout sur le développement soutenu de la puissance d'assimilation de ces admirables races d'animaux, recherchées à l'envi par tous les autres pays ; de même que sur le perfectionnement de l'ancien outillage agricole et la création de machines appropriées aux besoins multiples de la culture progressive.

Pour le bétail, on note l'augmentation croissante des surfaces en fourrages, correspondant à une plus-value effective de rendement, et l'emploi de plus en plus grand de tourteaux oléagineux et d'aliments préparés par le commerce, qui concourent à la formation pré-

FERME E

Tableau des cultures et fumures des terres n

NOMS DES PIÈCES.	SUPERFICIE. — Hectares.	1863.	1864.	1865.
Barn	8,0	*Trèfle rouge.* Sans engrais.	*Blé.* 250 kilogr. guano.	*Blé.* 250 kilogr. guano. 125 kilogr. nitrate. 190 kilogr. engrais à blé
Thirty Acres	12,0	*Blé.* Après pacage et 250 kilogr. guano.	*Avoine.* 250 kilogr. guano. 125 kilogr. engrais à blé.	*Avoine.* 125 kilogr. guano. 375 kilogr. engrais à bl
Upper Harpenden.	5,6	*Trèfle rouge.* Sans engrais.	*Blé.* 190 kilogr. guano. 190 kilogr. engrais spécial.	*Avoine.* 125 kilogr. guano. 250 kilogr. engrais à bl
Harpenden	9,0	*Avoine.* 375 kilogr. guano.	*Mangolds* et *turneps.* Fumier et engrais commerciaux.	*Blé.* Après pacage.
Little Hoos	3,6	*Orge.* 375 kilogr. guano. 125 kilogr. superphosphate.	*Trèfle rouge.*	*Blé.* 190 kilogr. guano. 125 kilogr. nitrate. 125 kilogr. engrais spé
Fosters	7,3	*Orge.* 700 kilogr. engrais spécial.	*Swedes.* Fumier et engrais commerciaux.	*Avoine.* 125 kilogr. guano. 125 kilogr. engrais sp
Knott Wood	12,0	*Avoine.* Pacage de moutons.	*Trèfle rouge.*	*Blé.* Après pacage. 125 kilogr. guano.
Little Knott Wood	5,6	*Swedes.* Fumier et engrais commerciaux.	*Blé.* Sans engrais.	*Trèfle rouge.* Sans engrais.
Sawpit	5,6	*Lentilles* et *avoine.* Après pacage et 250 kilogr. guano.	*Orge.* 190 kilogr. guano. 62 kilogr. superphosphate. 125 kilogr. engrais à blé.	*Mangolds* et *turnep* Fumier et engrais.
A reporter.	68,7			

OTHAMSTED

oumises à l'expérimentation de 1863 à 1869.

1866.	1867.	1868.	1869.
Avoine. 0 kilogr. guano. 5 kilogr. sulfate ammoniaque.	*Avoine.* 250 kilogr. guano. 125 kilogr. sulfate ammoniaque.	*Mangolds.* Fumier et 375 kilogr. guano. *Swedes.* 250 kilogr. guano, 310 kilogr. superphosphate.	*Blé.* Sans engrais après enfouissement des swedes.
Lentilles et swedes. mier et engrais commerciaux.	*Avoine.* Après pacage.	*Trèfle.*	*Blé.* 250 kilogr. guano.
Avoine. 0 kilogr. guano. 5 kilogr. sulfate ammoniaque.	*Lentilles.* Fumier. *Swedes.* Engrais commerciaux.	*Blé.* 3/4 = 310 kilogr. guano. 1/4 = pacage.	*Avoine.* 250 kilogr. guano. 125 kilogr. sang sec. 65 kilogr. sulfate ammoniaque.
Trèfle rouge. ns engrais.	*Blé.* 310 kilogr. guano.	*Avoine.* 250 kilogr. guano. 125 kilogr. nitrate. Pacage et 125 kilogr. nitrate.	*Swedes.*
Mangolds. mier et engrais commerciaux.	*Blé.* Sans engrais.	*Avoine.* 250 kilogr. guano. 125 kilogr. nitrate.	*Orge.* 125 kilogr. sang sec. 62 kilogr. sulfate ammoniaque. 125 kilogr. superphosphate.
Trèfle rouge. ns engrais.	*Blé.* 250 kilogr. guano. 62 kilogr. engrais spécial.	*Avoine.* 250 kilogr. guano. 125 kilogr. nitrate.	*Orge.* 125 kilogr. sang sec. 62 kilogr. sulfate ammoniaque. 125 kilogr. superphosphate.
Avoine.) kilogr. guano.) kilogr. sulfate ammoniaque.	*Avoine.* 250 kilogr. guano. 125 kilogr. sulfate ammoniaque.	*Swedes.* 250 kilogr. guano. 310 kilogr. superphosphate et fumier.	*Blé.* 1/2 = 375 kilogr. guano. 1/2 = sans engrais, après enfouissement des swedes et jachère.
Trèfle rouge. rès pacage.	*Blé.* 125 kilogr. guano. 62 kilogr. engrais spécial.	*Avoine.* 250 kilogr. guano. 125 kilogr. nitrate.	*Mangolds.* 30 000 kilogr. fumier. 375 kilogr. guano.
Blé. ns engrais.	*Trèfle rouge.* Sans engrais.	*Blé.* 125 kilogr. guano. 125 kilogr. engrais spécial.	*Blé.* 375 kilogr. guano.

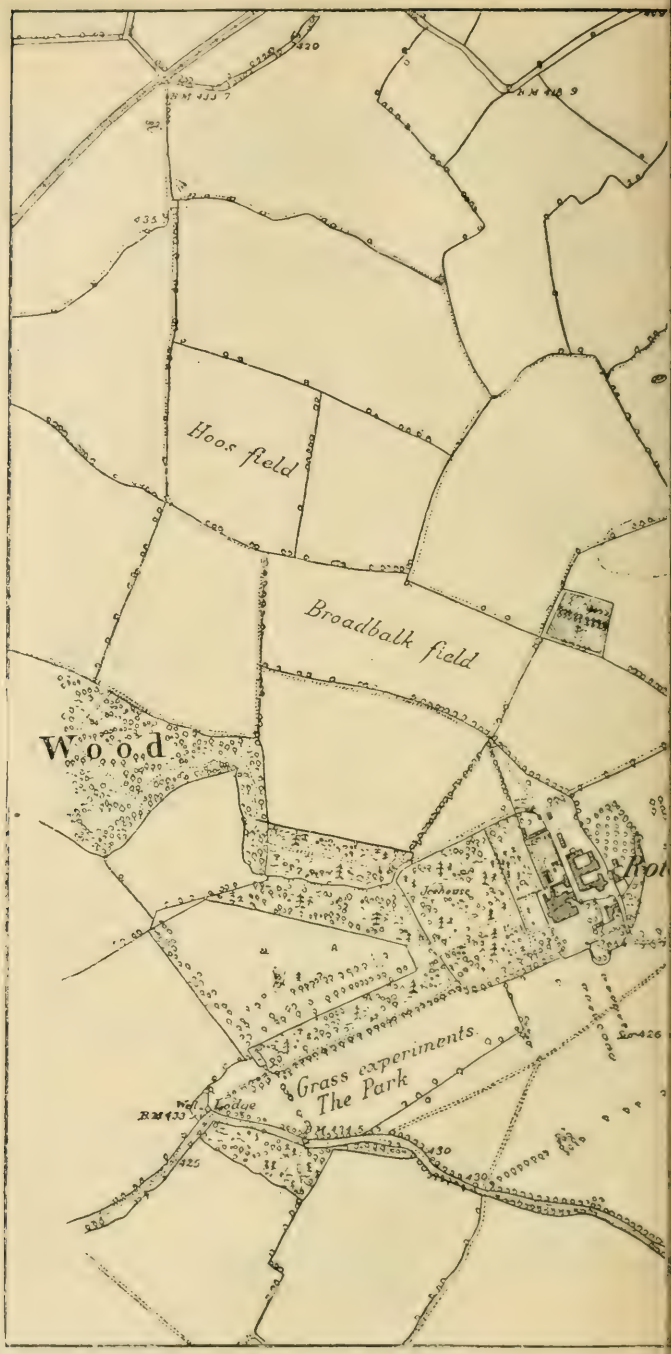
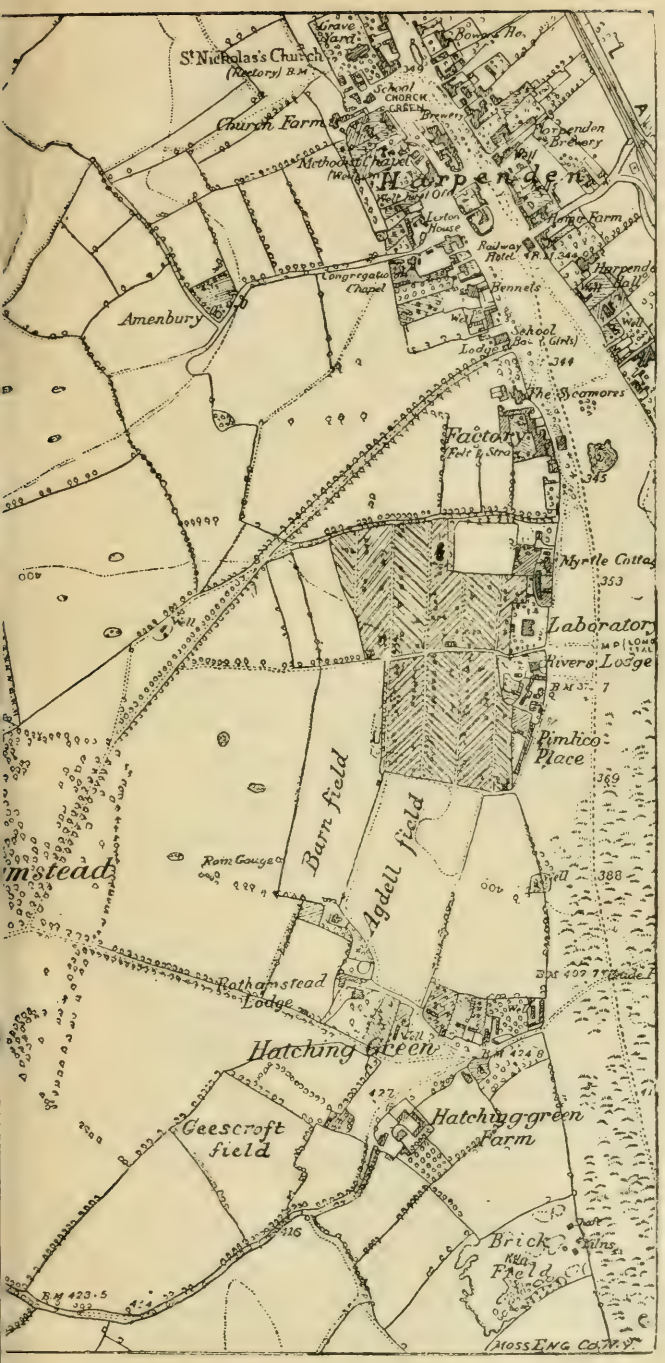


Fig. 2. — Carte des environs de Rothamste



erres et champs d'expériences du domaine.

core des animaux, de même qu'à l'augmentation de la viande et du fumier. L'effectif du bétail de rente, destiné à la fabrique de produits vendables, tels que la laine, le lait, le lard, la viande, etc., s'est accru, en conséquence, dans de grandes proportions, mais à une condition, devenue un axiome pour le fermier anglais : c'est que l'animal doit être parfaitement nourri ; sans cela, il produit peu et chèrement. Si l'effectif a diminué, pour les moutons, par exemple, l'élevage n'en a pas moins été dirigé d'après ce même axiome, vers la production du poids vif et de la meilleure qualité de viande.

D'ailleurs, par le perfectionnement incessant de l'outillage, on a non seulement voulu obvier à la rareté des bras et à la cherté de la main-d'œuvre, et réduire l'étendue des terres arables afin d'accroître celle des herbages, mais on a poursuivi la réalisation des conditions mécaniques propres à favoriser dans le sol le travail des plantes qui élaborent le mieux la matière végétale, sous les influences dominantes du climat des îles Britanniques.

La culture des céréales restant stationnaire, celle du froment et de l'orge a gagné du terrain sur l'avoine et le seigle, en même temps que le rendement et la qualité ont progressé ; la valeur nutritive a augmenté ; l'hectolitre de grain pèse plus qu'il y a vingt ans. Le froment, qui occupe la première place, rend en moyenne au delà de 26 hectolitres à l'hectare ; l'orge le suit de près et rend 34 hectolitres. L'avoine recule chaque jour, et le seigle n'est plus cultivé que pour mémoire.

L'outillage a permis de trouver dans la profondeur ce que la superficie ne pouvait plus donner, tandis que les plus heureux efforts ont été faits pour amener le végétal, dans chaque espèce, au degré de perfection, par le choix des variétés fournissant les plus grands rendements et les meilleurs produits.

Tandis que ces modifications se sont accomplies, le prix de la terre a beaucoup augmenté, surtout celui des terres légères, et le capital dépensé à l'hectare est devenu bien plus considérable.

Malgré cela, l'assolement s'est peu modifié dans chaque district.

Le fermier anglais, qui nourrit son bétail richement, obtient un fumier copieux et de qualité supérieure, lui permettant de disposer de plus de 12 000 kilogr. de fumier à l'hectare et par an. Ce fumier,

il le distribue dans l'assolement alterne, à raison de 25 000 kilogr. tous les deux ans ; ou dans l'assolement quadriennal du Norfolk, à raison de 50 000 kilogr. tous les quatre ans. La jachère, bien qu'en réduction manifeste, est contrecarrée sur les sols argileux d'une culture difficile, quoique les engrais complémentaires et chimiques soient appelés à en avoir raison.

Si le fermier est en mesure de dépenser de 75 à 100 fr. par hectare pour ces engrais, indépendamment du fumier, il peut avoir intérêt, pour s'adonner à la culture dominante des céréales, ou pour exploiter avec plus de profit ses terres fortes, à diminuer son bétail et son fumier, en augmentant notablement ses fumures d'engrais commerciaux. Au point de vue de la modification à apporter aux assolements et aux fumures, la ferme de Rothamsted a été d'un précieux enseignement.

Sur les 130 hectares de la ferme, non soumis à l'expérimentation, M. Lawes a su tirer heureusement parti de ses expériences pour cultiver les céréales, pendant plusieurs années de suite, sur les mêmes pièces, à l'aide d'engrais azotés et phosphatés ; mais à la condition que le sol fût entretenu en parfait état d'ameublissement et de propreté. Le nitrate de soude et les sels ammoniacaux se prêtent à cette culture intensive ; aussi, dans l'opinion de MM. Lawes et Gilbert, pourrait-elle se développer de même, avec succès, sur toutes les terres moyennement fortes. Si l'on met en regard, en effet, les prix de l'engrais employé et du produit excédant, les dépenses de nettoiement du sol et la nécessité d'obtenir des récoltes spéciales pour alimenter le bétail, on reconnaît l'avantage de la culture dominante des céréales, pourvu qu'elle cède la place, par intervalles, à la jachère, aux racines ou aux légumineuses, afin d'éviter l'épuisement ou l'appauvrissement du sol. Ainsi, les racines qui reçoivent du fumier de ferme, font retrouver périodiquement au sol certains éléments minéraux fertilisants que ne fournissent pas les engrais commerciaux en usage pour le froment.

On obtient donc à Rothamsted trois ou quatre récoltes successives de céréales sur le même champ, et bien que nous ne soyons pas en mesure de faire connaître la balance des cultures de M. Lawes, il est du plus haut intérêt d'examiner, en detail, le tableau (pages 36 à 39) des récoltes et des fumures, pendant sept années consécutives (1863 à 1869),

sur chacune des dix-neuf pièces de terre composant les 130 hectares de terres affranchies de l'expérience analytique. Depuis un certain nombre d'années, ces terres sont affermées, et il n'en a plus été tenu de compte statistique, sous le rapport des cultures annuelles et des engrais.

2. — Les champs d'expériences.

Après un coup d'œil jeté sur les terres en pleine culture (fig. 2), il reste à parler de celles divisées en parcelles et soumises aux essais.

Les champs d'expériences proprement dits sont désignés par les noms de : Hoos, Broadbalk, the Park, Geescroft, Barn, Agdell, Little Hoos, Thirty Acres, Fosters, Sawpit et Sawyers.

Hoos field. — *Orge.* — Le premier champ qui se présente au visiteur, offre une surface d'environ 2 hectares. En 1847, il avait reçu une fumure de superphosphate de chaux et de fumier et porté une récolte de navets de Suède. En 1848, il avait été cultivé en orge ; en 1849, trèfle ; en 1850, froment ; en 1851, orge, avec fumure de sels ammoniacaux. Depuis 1852, l'orge y a été cultivée consécutivement, c'est-à-dire sans interruption, pendant quarante-huit années.

La partie de Hoosfield affectée à l'orge comprend vingt-neuf parcelles, dont deux sont restées tout le temps sans engrais, et deux ont été fumées avec du fumier de ferme, à raison de 35 000 kilogr. à l'hectare. Les autres parcelles ont reçu chacune le même engrais, ou le même mélange d'éléments fertilisants, à savoir : superphosphate, sulfates de potasse, de soude et de magnésie, sels ammoniacaux, nitrate de soude, silicate de soude, tourteau de navette, cendres. Chaque mélange d'engrais, représenté quelquefois par six pesées d'éléments divers, a été renouvelé pendant près d'un demi-siècle sur la même parcelle.

Hoos field. — *Trèfle.* — Une autre partie de Hoos field (1,20 hectare) a été consacrée, en 1848, à des essais de culture de trèfle rouge (*Trifolium pratense*), à l'aide de nombreux mélanges d'engrais, et en intercalant de temps à autre une céréale ou une jachère.

Dès la première année (1849), la récolte fut très forte sur toutes les parcelles, surtout avec les engrais minéraux, sans matières azo-

tées. Après une récolte de froment, on sema de nouveau du trèfle au printemps de l'année 1850; en 1851, on obtint de faibles coupes, et en 1852, bien que les coupes ne fussent pas fortes, la récolte ne parut pas trop mauvaise. Mais, à partir de cette année, toutes les tentatives pour cultiver trèfle sur trèfle, dans le même sol, n'ont pas permis d'obtenir une pleine récolte, ni une plante susceptible de végéter le temps voulu.

En 1851 et en 1854, de fortes fumures avec fumier furent données à quelques-unes des parcelles, tandis que d'autres furent soumises au chaulage.

En 1864, une certaine étendue de la pièce fut défoncée à $0^m,60$ de profondeur. Un tiers de l'engrais fut mélangé avec la couche arable, sur une épaisseur de $0^m,40$ à $0^m,60$; un autre tiers, sur une épaisseur de $0^m,20$ à $0^m,40$; et le reste, sur moins de $0^m,20$, sans améliorer pour cela les conditions de végétation ultérieure du trèfle.

Dans l'hiver 1867-1868, on fit des essais de labour sur de petites parcelles, à des profondeurs de $0^m,22$, $0^m,45$ et $0^m,90$, où l'on enfouit les mélanges d'engrais, en faisant varier les doses de potasse, de chaux, de magnésie, d'acide phosphorique, etc., sans plus de résultat.

D'autre part, il est curieux de noter qu'à quelques centaines de mètres de Hoos field, dans un jardin soumis depuis très longtemps à la culture potagère, du trèfle semé en 1854 et ressemé bien des fois depuis, n'a pas cessé, jusqu'à présent, de donner les plus belles récoltes.

Depuis 1878, d'autres légumineuses que le trèfle rouge, telles que le trèfle blanc, la vesce, le mélilot, la luzerne, etc., ont été cultivées expérimentalement à Hoos field. Ces essais sont encore en cours.

Broadbalk field. — *Froment.* — Ce champ, voué à la culture du froment, a une superficie de près de 4 hectares et demi. En 1839, il avait reçu une fumure de fumier pour turneps. En 1840, il avait porté de l'orge; en 1841, des pois; en 1842, du froment; en 1843, de l'avoine; ces quatre récoltes, sans engrais. Depuis 1844 jusqu'à l'année présente, c'est-à-dire pendant cinquante-six années consécutives, le froment a été cultivé sur vingt-deux parcelles, dont quatorze ont été dédoublées à diverses époques. Deux de ces parcelles sont restées

sans engrais; une parcelle a reçu uniquement du fumier de ferme, à raison de 35000 kilogr. à l'hectare, et les autres ont été fumées avec des matières en mélanges identiques à ceux employés pour l'orge.

The Park. — *Prairie.* — Cette pièce, d'une contenance de 3 hectares environ, était en prairie depuis un temps immémorial. Pendant quarante ans, aucune graine nouvelle n'y avait été semée, et personne ne se rappelait en avoir vu semer auparavant. Les expériences ont commencé en 1856, alors que l'aspect de la prairie indiquait une grande uniformité dans les plantes; elles ont duré jusqu'à présent. Le pré du Park est divisé en vingt parcelles, dont deux sont restées sans engrais depuis quarante-quatre ans; une autre a reçu du fumier de ferme, et une troisième, des sels ammoniacaux seulement.

Geescroft field. — *Avoine.* — La surface en expérience pour l'avoine, 30 ares, avait été consacrée en 1847-1848 à des essais d'engrais pour la culture du trèfle, et de 1849 à 1859 à des essais sur les fèves. En 1860, le champ entier resta en jachère; en 1861 et en 1862, il porta du froment sans engrais; en 1863, il fut mis de nouveau en jachère; en 1864, on y cultiva des haricots avec engrais; en 1865, du froment sans fumure; en 1866, des fèves, et en 1867 et 1868, encore du froment également sans fumure.

Depuis 1869 jusqu'en 1878, l'avoine a été cultivée sans interruption sur six parcelles, dont une sans engrais, une autre avec des sels ammoniacaux seulement, à raison de 145 kilogr. à l'hectare, et une troisième avec du nitrate de soude, à raison de 620 kilogr. à l'hectare.

Geescroft field. — *Légumineuses.* — C'est sur ce même champ de Geescroft qu'ont eu lieu, durant treize années de suite (1847-1859), les essais d'engrais pour la culture des fèves; mais, dans les dernières années, la récolte diminua tellement et la terre devint si sale, qu'il fallut abandonner la culture continue. On laissa la pièce (50 ares) en jachère en 1860; puis on sema du froment sans engrais, et l'on fit la récolte en 1861. En 1862, la culture des fèves fut reprise, avec quelques différences dans la composition des engrais, et continuée jusqu'en 1869, sauf une année de jachère 1863. Après avoir chaulé toutes les parcelles dans l'hiver 1869-1870, à raison de 5600 kilogr.

à l'hectare, on sema de nouveau des fèves en 1870 sans engrais ; l'hiver fut tellement rigoureux que la récolte suivante dut être enfouie, de même qu'en 1871, où l'humidité fut si préjudiciable.

Les essais de culture des fèves embrassent, en résumé, de 1847 à 1878, trente-deux années ; mais les récoltes n'ont pu être faites qu'au nombre de vingt-six.

Sur cette même pièce, la culture consécutive des pois et des lentilles, à l'aide de divers engrais, fut délaissée dès les premières années, à cause de la difficulté de maintenir le sol exempt de mauvaises herbes.

Barn field. — *Turneps et navets.* — Une superficie de 3 hectares 25 ares a servi à la première de toutes les cultures expérimentales par séries, celle des turneps. La première série comprend les essais de dix années consécutives, 1843 à 1848, avec des turneps blancs de Norfolk, et de 1849 à 1852, avec des navets de Suède ou rutabagas. Elle fut suivie d'une culture d'orge pendant trois années, afin d'égaliser les conditions fertilisantes du sol. La deuxième série d'essais sur le navet de Suède a repris, sans interruption, depuis 1856 jusqu'en 1870, c'est-à-dire pendant quinze années, avec divers mélanges d'engrais, comparés au fumier de ferme et à une parcelle restée sans aucun engrais.

Barn field. — *Betterave.* — En 1871, Barn field fut consacré également à la culture expérimentale de la betterave à sucre, sur le même champ, partagé en cinq planches.

Des huit parcelles en expérience sur chaque planche, une a été fumée avec du fumier, à raison de 35 000 kilogr. à l'hectare, et une autre demeura sans engrais depuis 1853. Les mélanges d'engrais furent les mêmes que ceux appliqués aux navets, sauf qu'ils renfermaient des alcalis ; toutefois, sur la deuxième planche, les parcelles ont reçu en outre 600 kilogr. à l'hectare de nitrate de soude ; sur la troisième planche, 450 kilogr. de sels ammoniacaux ; sur la quatrième, 2 250 kilogr. de tourteau de navette et 450 kilogr. de sels ammoniacaux ; enfin sur la cinquième planche, 2 250 kilogr. de tourteau seul.

Terminés en 1875, après cinq années de culture, les essais viennent d'être repris, depuis 1898, d'après un nouveau programme, comportant deux séries distinctes.

Barn field. — *Mangold.* — Après les betteraves, la culture du mangold a été installée, en 1876, dans les mêmes conditions ; elle compte actuellement vingt-quatre récoltes consécutives, en sorte que la culture des racines, turneps, navets, betteraves et mangolds embrasse une période totale de cinquante-sept années (1843-1899).

Agdell field. — *Rotation.* — C'est sur cette pièce de plus d'un hectare qu'ont été inaugurées, depuis 1848, les expériences sur l'assolement quadriennal comprenant : turneps, orge, légumineuse et froment. La récolte de 1899 a été la cinquante-deuxième, ou la quatrième de la treizième rotation. Un tiers de cette pièce n'a reçu aucun engrais, un autre tiers n'a été fumé qu'avec du superphosphate de chaux, tous les quatre ans, c'est-à-dire à l'année de turneps, commençant la rotation ; et le dernier tiers a reçu également, pour la reprise en turneps seulement, un engrais complexe formé, depuis la troisième rotation, de sulfates de potasse, soude et magnésie, de cendres d'os et d'acide sulfurique, de sulfate et chlorhydrate d'ammoniaque et de tourteau de navette.

A partir de la seconde rotation, au lieu de trèfle comme légumineuse, on a cultivé des fèves sur moitié de la pièce et laissé l'autre moitié en jachère.

Sur la sole en turneps commençant chaque rotation, on a enlevé, pour moitié de chaque parcelle, les bulbes et les feuilles, et pour l'autre moitié, on les a fait manger sur place par les moutons.

Pour les autres récoltes, la totalité des produits a été exportée.

Les expériences sur l'assolement quadriennal en sont à leur cinquante-troisième année.

Fosters field, Thirty acres, Sawyers, Sawpit désignent diverses pièces de la ferme où, depuis 1867, M. Lawes a cultivé comparativement diverses variétés de froment avec des fumures différentes, à savoir :

En 1868, à *Sawpit field,* avec 125 kilogr. de guano et 125 kilogr. d'engrais à blé par hectare, après trèfle, sept variétés de froment, en relevant pour chacune le volume et le poids de l'hectolitre du grain produit. Moyenne du rendement : 41 hectolitres ;

En 1869, à *Thirty acres field,* avec 250 kilogr. de guano à l'hectare, après trèfle, dix variétés de froment, dont trois nouvelles. Moyenne : 45 hectolitres ;

En 1870, à *Sawyers field,* fumé avec 500 kilogr. par hectare de guano, après jachère, douze variétés de froment, dont dix de l'année précédente. Moyenne : 44 hectolitres ;

En 1871, à *Sawpit field,* de nouveau fumé avec 375 kilogr. de guano par hectare, après mangolds enlevés du champ, vingt et une variétés de blé. Moyenne : 29 hectolitres.

En 1872, à *Fosters field,* auquel on donna pour fumure 250 kilogrammes de superphosphate et 250 kilogr. de nitrate de soude à l'hectare, après racines enlevées du champ, vingt-quatre variétés de froment comprenant les blés blancs tendres et les blés rouges les plus connus.

Ces essais comparatifs, étendus également aux pièces de Long Hoos, Harpenden, Upper Harpenden, Little Knot Wood, Rickyard, et portant sur vingt-six variétés de froment, ont fait l'objet de résumés, comme rendement et comme poids de l'hectolitre, jusqu'en 1881.

Little Hoos et **Thirty acres.** — Dans ces deux pièces de la ferme, depuis 1871, des expériences ont été entamées sur l'application économique d'engrais coûteux, tels que ceux additionnés de sulfate d'ammoniaque et de nitrate de soude. On a reconnu, en effet, par une longue pratique, que la moitié seulement de l'azote fourni par ces engrais se retrouve dans l'excédent de produit ; qu'une proportion considérable reste dans le sol à l'état latent, et longtemps inactive ; et qu'une partie non moins considérable se perd par les eaux de drainage, ou autrement. Les essais sur des parcelles de 10 ares pour le froment, de 20 ares pour l'orge, ont consisté à recueillir les données résultant de l'application de l'engrais à l'aide du semoir, soit en même temps que la semence, soit par-dessus la semence, et à les comparer aux données de l'ensemencement en lignes à divers intervalles, ou à celles de l'ensemencement à la volée, avec hersage ultérieur.

Ces expériences ont été complétées par des recherches sur les époques de l'année les plus avantageuses pour la fumure.

Ainsi, en 1843, alors que Liebig et Boussingault discutaient encore sur le rôle de l'atmosphère, de l'humus, de l'azote et des matières minérales dans le sol, suivant les assolements et les saisons, MM. Lawes et Gilbert expérimentaient déjà scientifiquement, pour se mêler à leur tour à la discussion, avec des faits, en agissant pratiquement sur une ferme entière. Leur entreprise de si longue haleine, due à l'initiative, aux capitaux, aux connaissances agronomiques et à la foi de M. Lawes dans le progrès scientifique, pouvait seule inspirer la confiance dans les résultats et engager la pratique agricole de tout un pays à sa suite. Elle se résume dans le tableau suivant, en ce qui concerne les expériences culturales, qui nous occuperont tout d'abord.

Nomenclature des champs d'expériences de Rothamsted ; dates et durée des essais ; surface et nombre de parcelles.

DÉSIGNATION des pièces de terre.	RÉCOLTES.	EXPÉRIENCES CULTURALES. Dates de leur mise en train.	Durée ; nombre d'années.	En cours ou cessées.	NOMBRE de parcelles.	SURFACES des champs d'expériences.
						hectares.
Broadbalk . . .	Froment.	1843-1844	56	continues	37	4,45
Hoos	Froment et jachère. . . .	1851	48	—	2	0,40
Divers.	Froment, variétés	1867-1868	15	cessées	20	1,60 à 3,20
Hoos.	Orge	1852	48	continues	29	1,72
Geescroft . . .	Avoine	1869	10[1]	cessées	6	0,30
Geescroft . . .	Fèves	1847	32[2]	—	10	0,50
Geescroft . . .	Fèves et froment.	1851	28[3]	—	10	0,40
Hoos	Trèfle	1848-1849	30[4]	—	18	1,20
Jardin potager.	Trèfle	1854	46	continues	3	»
Little Hoos. . .	Trèfle et orge	1872	27	—	»	3,60
Hoos	Légumineuses diverses . .	1878	22	—	18	1,20
Barn.	Turneps et navets	1843	28[5]	cessées	10	3,25
Barn	Betterave à sucre (1re série).	1870	5	—	11	3,25
Barn	Betterave à sucre (2e série).	1898	2	continues	6	»
Barn	Mangold.	1876	24	—	11	3,25
Hoos	Pommes de terre.	1876	24	—	10	0,80
Agdell.	Assolement quadriennal (14e rotation).	1848	52	—	12	1,20
The Park . . .	Prairie permanente. . . .	1856	44	—	22	2,80

1. Y compris une année de jachère.
2. Y compris une année de froment et cinq années de jachère.
3. Y compris deux années de jachère.
4. Une année de froment ; cinq années d'orge ; douze années de jachère.
5. Y compris trois années d'orge sans engrais (1853-1855).

Il y a cinquante-sept ans, les expériences débutaient d'abord par les turneps, puis les navets de Suède, les betteraves et finalement les mangolds; elles duraient encore en 1899. La culture du froment, soumise aux essais depuis 1843-1844, a atteint sa cinquante-sixième année en 1899. Pour les légumineuses, les expériences sur les fèves, installées en 1847, furent poursuivies pendant trente-deux années jusqu'en 1879; celles sur le trèfle, continuées depuis 1848-1849 pendant trente ans, firent place aux essais de légumineuses diverses, luzerne, pois, mélilot, sainfoin, trèfles blanc et rouge et vesce, comptant, depuis 1878, vingt et une années, de telle sorte que les légumineuses ont été expérimentées pendant cinquante années de suite.

L'assolement-type, mis en essai dès 1848, a vu s'accomplir la treizième rotation dont le froment, formant la quatrième sole en 1899, représente la cinquante-deuxième récolte.

Le froment, sans engrais, alternant avec la jachère, est cultivé depuis 1851 ; les expériences comptent quarante-huit années. L'orge, expérimentée depuis 1852, a fourni quarante-huit récoltes; l'avoine, de 1869 à 1879, neuf récoltes.

Les herbes de prairie, cultivées d'une manière permanente depuis 1856, ont donné quarante-quatre récoltes annuelles.

Enfin, les expériences sur la culture de la pomme de terre, commencées en 1876, à Hoos field, ont atteint leur vingt-quatrième année.

L'ensemble des cultures expérimentales de Rothamsted représente une surface totale, depuis quelques années déjà, d'environ 16 hectares.

Avant de décrire les expériences agronomiques, poursuivies sur une si vaste échelle et d'en formuler les résultats, nous consacrerons quelques lignes à la biographie des deux savants, volontairement attachés l'un à l'autre par une collaboration de plus d'un demi-siècle !

3. — MM. Lawes et Gilbert.

Sir John Bennet Lawes. — M. Lawes (fig. 3), né à Rothamsted en 1814, devenait, à la mort de son père, en 1822, l'héritier du domaine de famille. Il fit ses premières études au collège d'Eton et

les acheva, comme les fils de tous *gentlemen* à cette époque, à l'université d'Oxford, au Brazenose college. Après avoir acquis, dans les laboratoires de Londres, des connaissances en chimie et en pharmacologie, il prit possession de Rothamsted en 1834, et s'appliqua aussitôt à des recherches d'agriculture expérimentale. Les travaux du célèbre Th. de Saussure sur la végétation avaient de bonne heure fixé son attention, et déterminé chez lui une inclination des plus vives vers l'étude des solutions pratiques, à l'appui des théories agricoles qui avaient alors cours dans le monde savant. Son voisin et ami, lord Dacre, fut des premiers à l'engager à faire des essais sur l'emploi des os, dont l'action fertilisante était remarquable dans certains sols, et nulle dans d'autres. M. Lawes institua alors une première série d'expériences sur diverses récoltes en plein champ et sur des plantes en pots, auxquelles il donna pour fumures les éléments des cendres de ces plantes et des mélanges fertilisants à différentes doses et à divers états de combinaison. Ces essais démontrèrent l'excellence, notamment pour les racines, du phosphate de chaux des os, des cendres d'os et de l'apatite, dissous par les acides et mélangés.

Les résultats furent si concluants de 1837 à 1840 que, dans les deux années suivantes, M. Lawes mit en expérience des pièces entières de sa ferme. Dès ce moment, le riche et savant agronome se décidait, sans théorie préconçue, à résoudre pratiquement, dans l'intérêt de l'agriculture, les problèmes les plus importants relatifs aux engrais, « tant pour éviter aux fermiers des mécomptes parfois désastreux, que pour épargner aux innovations vraiment utiles le discrédit dont tout insuccès les frappe pour longtemps ».

En 1840, Liebig discutait le rôle prépondérant de chacune des matières minérales qui dominent dans les cendres des végétaux, et insistait, pour la première fois, sur le rôle de l'acide phosphorique dans la végétation. On connaissait pratiquement l'effet du phosphate des os, en poussière, mélangé avec les fumiers, fermenté avec les cendres, la tourbe, etc., ou arrosé de purin et de lessives. Des districts entiers dans le nord-est de l'Angleterre, les *wolds* du comté de Lincoln, les terres arides du Nottinghamshire, etc., avaient acquis une fertilité exceptionnelle par l'emploi des os moulus, comme engrais. Mais il appartenait à Liebig d'énoncer, dans sa *Chimie appli-*

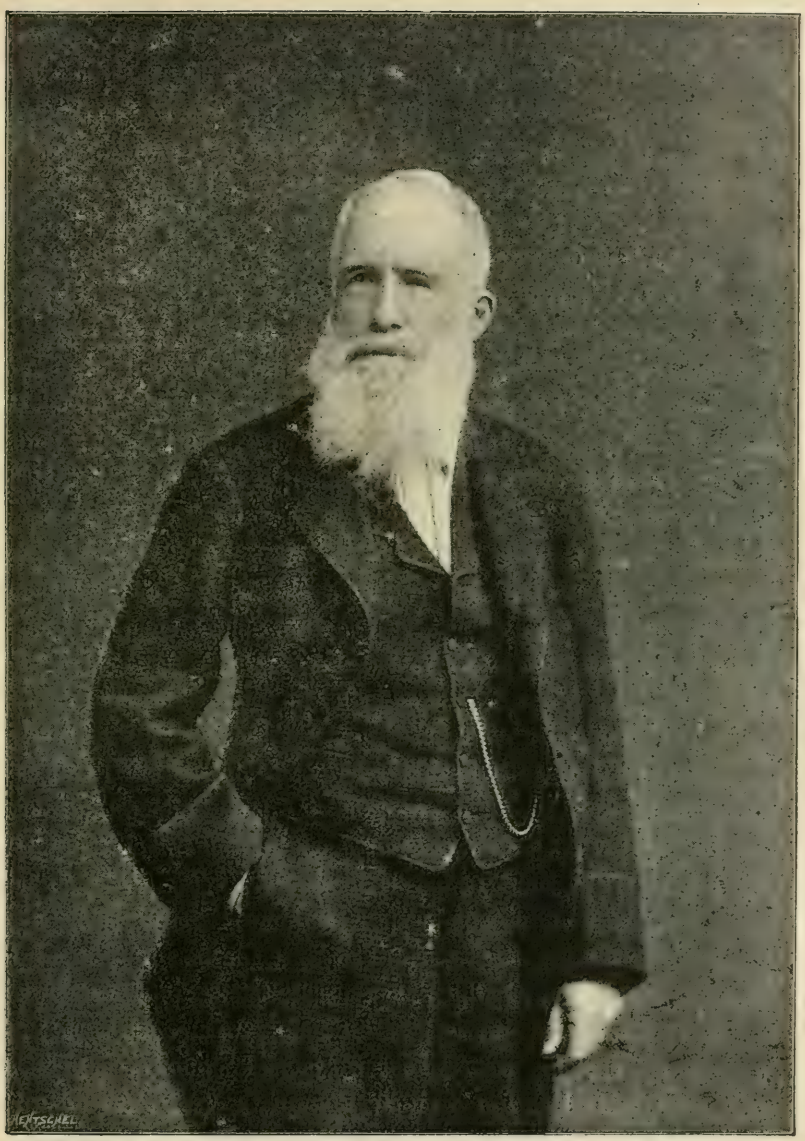


Fig. 3. — Sir John Bennet Lawes.

quée, que si l'on met les os en digestion avec la moitié de leur poids d'acide sulfurique, étendu de trois à quatre parties d'eau ; si l'on dilue la pâte ainsi formée dans cent parties d'eau et que l'on arrose le sol avec ce liquide acide, avant le labour, on active de beaucoup l'action des phosphates solubles sur la végétation.

On a voulu reconnaître, dans cette indication, l'origine de la fabrication des *superphosphates* de chaux à base minérale. Ce qui est certain, c'est que M. Lawes expérimentait bien avant la publication de la *Chimie* de Liebig avec des posphates animaux et minéraux dissous par les acides, et se décidait en 1842 à établir à Deptford, près de Londres, une usine pour la fabrication, par des procédés brevetés, des engrais solides et pulvérulents, connus depuis sous le nom de *superphosphates.*

Dans le but d'alimenter cette fabrication, il donnait le plus grand essor aux recherches et à l'exploitation des gisements de phosphates minéraux, tant en Angleterre qu'en Norvège et ailleurs.

Usines de M. Lawes. — Quelques années plus tard, la première usine de Deptford était doublée d'une autre construite à Barking, sur la rive opposée de la Tamise, en aval de Londres, où la production de l'acide sulfurique atteignait bientôt des proportions inusitées. En 1870, les deux usines livraient plus de 40 000 tonnes de produits phosphatés à l'agriculture des îles Britanniques et de leurs colonies. Ces produits consistaient en *engrais pour turneps,* riches en phosphates solubles et insolubles et renfermant des matières organiques et de l'ammoniaque ; en *os dissous,* quelquefois préférés pour le turneps, mais plus riches que les précédents en phosphate insoluble ; en *superphosphates de chaux,* riches en phosphates solubles, utilisables pour les racines, mais surtout pour le blé de printemps, les pommes de terre, etc., et en mélange avec le guano, ou avec les autres engrais ammoniacaux ; en *engrais pour pommes de terre ; engrais pour blé* et *pour prairies ; engrais concentré pour blé* et *pour prairies ; engrais spécial pour cannes à sucre,* etc.

En 1863, nous décrivions dans le *Journal d'Agriculture pratique*[1] les vastes établissements de M. Lawes, les exploitations des gisements

1. *Journal d'Agriculture pratique,* 1863, t. II, et 1864, t. I.

de coprolithes et les emploi svariés des superphosphates et des autres engrais à base d'acide phosphorique, en Angleterre. L'attention avait déjà été appelée, en France, sur l'utilité agricole du phosphore par Élie de Beaumont ; de Molon avait déjà lancé en grand l'exploitation des nodules broyés dont il découvrait des gîtes importants ; mais le rôle considérable des superphosphates était à peine soupçonné et, en tout cas, mal défini. En effet, lorsque, répondant à une invitation de M. Lawes, les jurés étrangers de l'Exposition universelle de Londres furent reçus princièrement dans l'usine de Barking, en 1862, l'industrie des superphosphates, développée dans de telles proportions, devint pour eux une véritable révélation.

L'année suivante, sur les rapports de quelques-uns des jurés français, nous recevions la mission d'étudier la fabrication des superphosphates et ses conditions économiques en Angleterre. Nous étions heureux de pouvoir la remplir alors sous les auspices de feu notre ami, le docteur Vœlcker, professeur de chimie au collège royal agricole de Cirencester, et, depuis, chimiste-conseil de la Société royale d'agriculture.

Le rapport de notre enquête, publié en 1864, a permis non seulement à nos agriculteurs, mais aussi à nos fabricants[1] de s'initier à une industrie qui finit par recevoir un très grand développement aux mains des compagnies de produits chimiques, telles que Saint-Gobain, Salindres, Bordeaux, etc.

Notre connaissance de MM. Lawes et Gilbert, à Rothamsted, et de leurs travaux scientifiques, date de cette époque.

Compagnie des engrais Lawes. — En 1872, une compagnie puissante, sous le nom de *Lawes chemical manure,* établie au capital de 15 millions de francs, acquérait de M. Lawes ses usines, ses gisements, ses installations et ses produits, pour la somme de 7 millions et demi de francs. Cette acquisition comprenait :

1° La fabrique de Barking occupant une superficie de 40 hectares, avec les quais pourvus de tramways, de grues, etc., établis sur les rives de la Tamise et de la Creek ; quarante-trois chambres de plomb produisant 20 000 tonnes d'acide sulfurique annuellement ; un appa-

---

1. A. Ronna, *Fabrication et emploi des phosphates de chaux en Angleterre,* 1864.

reil en platine pour la concentration de l'acide ; trois machines à vapeur avec leurs chaudières ; cinq moulins de deux tournants ; des broyeurs Blake, des mélangeurs Carr ; des appareils à sulfate d'ammoniaque ; environ cinquante maisons d'ouvriers ;

2° La fabrique de Deptford couvrant une superficie considérable, avec voies de service au quai sur la Creek, quatre machines à vapeur avec chaudières ; cinq moulins de deux tournants, des broyeurs Carr, etc. ;

3° Les exploitations de phosphate minéral, situées notamment dans les comtés de Cambridge et de Suffolk, avec leur matériel spécial, assurant une production annuelle de 10 000 tonnes de coprolithes.

La nouvelle compagnie, administrée par les industriels les plus compétents de Manchester et de Newcastle, prit la suite des affaires de M. Lawes, sur le pied de bénéfices nets calculés à plus de 1 million et demi de francs par an, ou d'un revenu minimum de 10 p. 100 sur le capital engagé.

Ce fut M. Chaston, directeur depuis quinze années des usines de M. Lawes, qui fut désigné pour diriger les services au compte de la compagnie.

Quant à M. Lawes, il annonçait en 1872 sa retraite définitive de l'industrie des engrais, dans les termes suivants, empruntés à sa circulaire :

« J'ai l'intention de consacrer entièrement le reste de mes jours à la science agronomique, et je me propose dans un bref délai de doter mon laboratoire et les champs d'essais d'une somme de 2 millions et demi de francs, dont l'intérêt sera appliqué, après ma mort, à subvenir aux dépenses nécessaires pour poursuivre les expériences en cours depuis tant d'années à Rothamsted. »

Par acte public (février 1889), une donation de 2 500 000 fr., indépendamment du laboratoire avec son matériel, des archives et des terres désignées pour les champs d'expériences, fut faite en effet par Sir Bennet Lawes, créé baronnet depuis 1882 en récompense des services éminents qu'il avait rendus à l'agriculture nationale.

Pour assurer la continuation des recherches agronomiques de la station de Rothamsted après son décès, sir Bennet Lawes a fait désigner par l'acte de donation un conseil de curateurs, formé de Sir

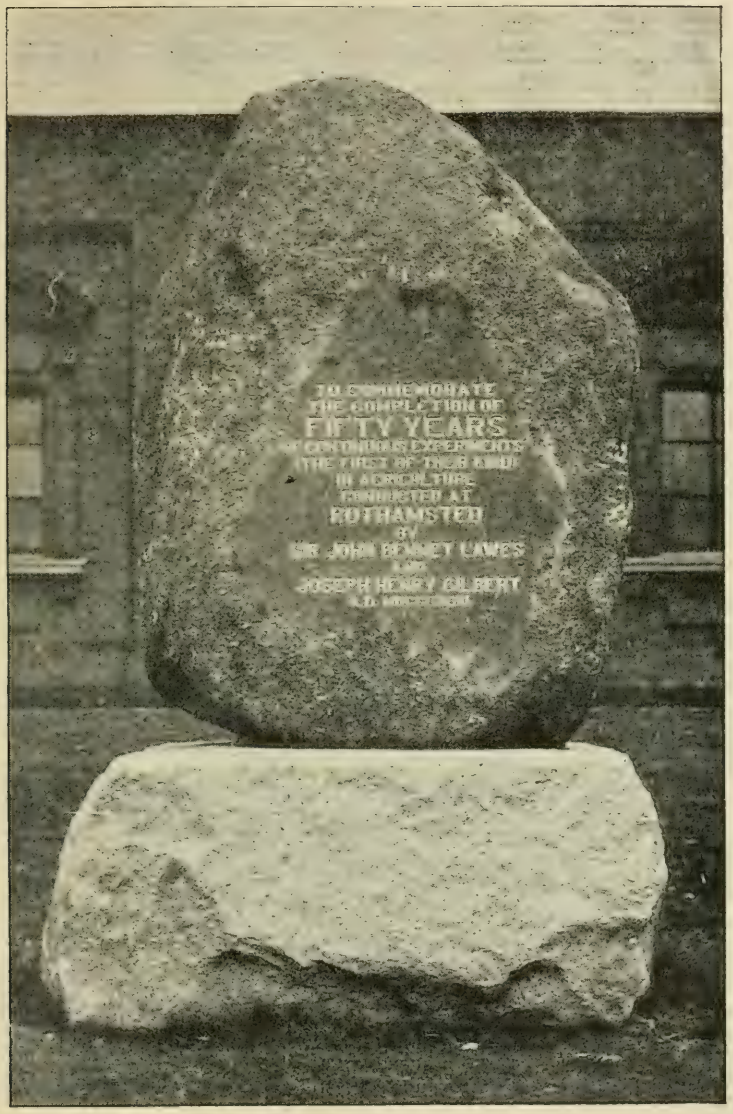


FIG. 4. — Monolithe commémoratif des cinquante premières années d'expériences de MM. Lawes et Gilbert.

John Lubbock, lord Walsingham et Sir John Evans, en même temps qu'un comité de direction comprenant quatre membres de la société royale, un membre de la société chimique, un de la société linnéenne et trois membres de la société royale d'agriculture d'Angleterre, dont M. Lawes fait partie sa vie durant.

A l'occasion du cinquantième anniversaire des expériences de Rothamsted, un comité présidé par le duc de Westminster, alors président de la société royale d'agriculture, résolut d'ouvrir une souscription, sous les auspices du prince de Galles, pour présenter à MM. Lawes et Gilbert un témoignage de reconnaissance publique.

Les souscriptions de 25 et 50 fr. par tête, recueillies en quelques mois, produisirent une somme de plus de 17 000 fr. à l'aide de laquelle le comité, dans une réunion solennelle des agriculteurs, tenue à Harpenden, le 29 juillet 1893, put remettre aux deux savants agronomes un monument à placer devant le laboratoire, consistant en un monolithe du poids de 8 tonnes, en granit du Westmoreland, que supporte un piédestal de granit également, où sont gravées les inscriptions commémoratives (fig. 4). En même temps, le secrétaire d'État de l'agriculture, membre du Parlement, M. Herbert Gardner, présentait les adresses enluminées du comité, revêtues de la signature du prince de Galles, et de celles des principales sociétés agricoles et scientifiques de l'Angleterre, des États-Unis, de la France et de l'Allemagne.

En outre, sir Bennet Lawes recevait, à titre de don personnel, son portrait peint par le célèbre artiste Hubert Herkomer, et le docteur Gilbert, une coupe en argent massif[1].

Sir Joseph-Henri Gilbert. — M. Gilbert (fig. 5) est né à Hull en 1817. Son père, le révérend Joseph Gilbert, professeur d'humanités au collège théologique de Rotherham, puis ministre à Hull, s'était fait connaître par plusieurs ouvrages didactiques très estimés. Sa mère avait aussi publié, en collaboration avec sa sœur, sous les noms de Anne et Jane Taylor, divers écrits littéraires fort appréciés.

Les premières études du jeune Gilbert, interrompues par les suites

1. *Rothamsted jubilee fund, Report of the executive committee*, 1893.

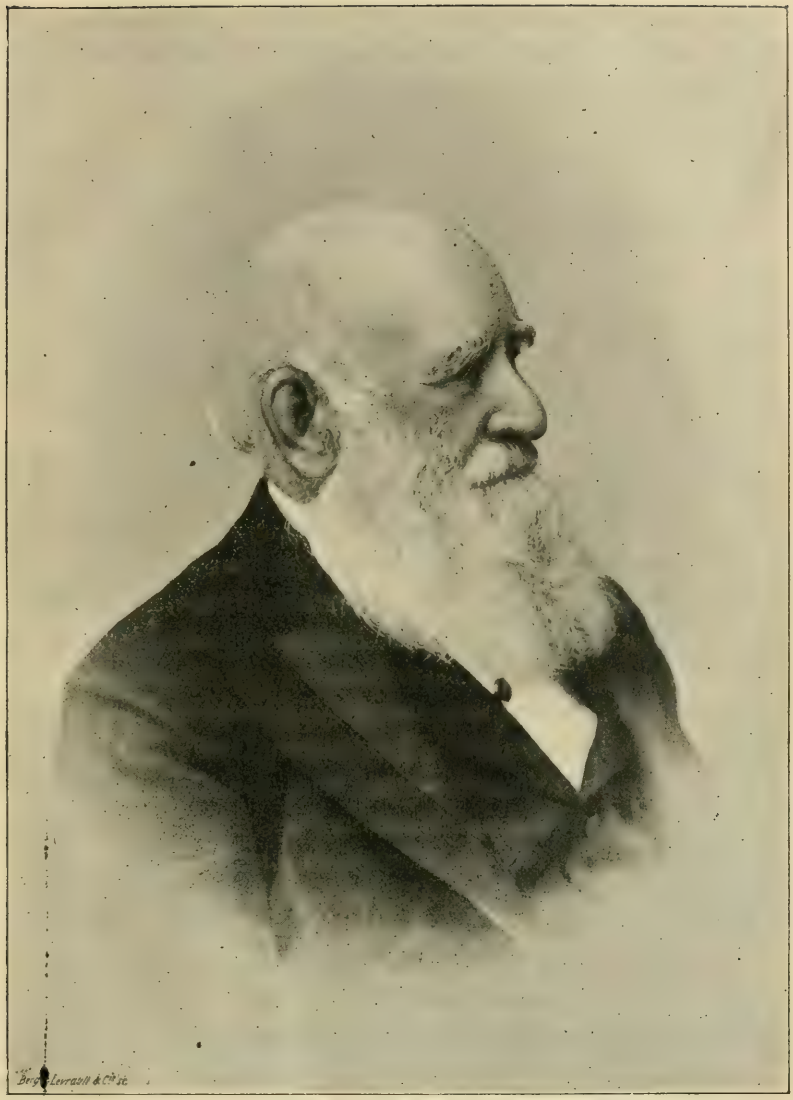


Fig. 5. — Sir Joseph-Henri Gilbert.

d'un accident dû à une arme à feu, qui le priva d'un œil, furent poursuivies à l'université de Glasgow et s'achevèrent à Londres, au collège de l'Université, où professait Graham. Il manipula spécialement dans le laboratoire du docteur A. Todd Thomson, professeur de thérapeutique et de toxicologie à cette université, et se rendit quelques années plus tard au laboratoire de Liebig, à Giessen.

Revenu à Londres en 1840, avec le titre de docteur en philosophie, M. Gilbert reprit son service au laboratoire Thomson, mais cette fois en qualité de répétiteur et de préparateur des cours de son ancien maître. De là, il s'établit aux environs de Manchester, où il passa quelque temps à étudier les procédés industriels de teinture et d'impression sur tissus, lorsqu'en 1843, il accepta l'offre faite par M. Lawes de remplacer le chimiste Dobson, pour diriger les essais analytiques du laboratoire de Rothamsted.

C'est à cette direction que M. Gilbert a consacré de si nombreuses années avec une assiduité et une abnégation peu ordinaires, n'interrompant la besogne assujettissante du laboratoire, des champs d'expériences et des publications que pour vaquer aux travaux des associations scientifiques dont il est membre actif : société linnéenne, société royale météorologique, sociétés des arts, des ingénieurs civils, etc.

Nommé maître ès arts de l'université d'Oxford (1884), docteur des universités de Glasgow (1883), d'Édimbourg (1890), de Cambridge (1894), professeur d'économie rurale (fondation Sibthorp) à Oxford (1884-1890), le docteur Gilbert, après deux visites aux États-Unis, en 1882 et 1884, reçut la mission du comité des curateurs de Rothamsted d'y retourner en 1893 pour y donner des conférences, conformément à une stipulation de l'acte de donation de M. Lawes.

A la suite du jubilé célébré pour le cinquantième anniversaire de Rothamsted, le docteur Gilbert obtint à son tour les lettres patentes de la reine qui l'ont créé baronnet (11 août 1893).

La collaboration de MM. Lawes et Gilbert s'étend à un ensemble de travaux agricoles et physiologiques, le plus vaste sans doute qu'il ait été donné à des savants d'embrasser et de mener à bonne fin. Leurs recherches patientes, sans éclat, où la rigueur de l'observation dispute le pas à l'intelligente interprétation des phénomènes,

ont été consignées au fur et à mesure dans les recueils les plus variés, mais principalement dans le *Journal de la Société royale d'agriculture d'Angleterre,* dont les deux savants ont si vivement concouru à rehausser le rôle et à étendre l'influence.

On trouve également leurs mémoires dans les comptes rendus de l'*Association britannique;* dans le *Journal de la Société chimique de Londres;* dans les *Transactions de la Société royale,* le *Journal de la Société des arts* et le *Journal de la Société d'horticulture de Londres;* dans le *Journal de la Société royale de Dublin,* la *Revue vétérinaire,* la *Revue philosophique d'Édimbourg,* etc. (Voir la liste complète de ces Mémoires en fin du volume.)

Comme membres de la plupart des associations scientifiques dont les recueils viennent d'être énumérés [1], les deux associés ont déterminé chez toutes la tendance la plus profitable vers l'examen et la solution des problèmes ardus de la physiologie et de l'agronomie.

4. — Le Laboratoire.

La biographie de MM. Lawes et Gilbert serait incomplète si nous négligions de présenter une courte notice sur le laboratoire où se sont exécutés leurs travaux. Nous devrions dire les *laboratoires,* car depuis 1855, la grange qui avait été transformée en laboratoire ne sert plus aux manipulations; et c'est dans un édifice spécial avec une annexe récente, que se sont poursuivies les recherches chimiques des deux savants pendant les quarante dernières années.

Quoi qu'il en soit, l'ancienne grange avec son toit surbaissé, ses petites ouvertures et son aspect d'atelier de fabrique, avait joué son rôle. M. de Lavergne, dans son *Essai sur l'économie rurale de l'An-*

---

1. M. Lawes, promu docteur de l'Université d'Édimbourg, en 1877, de celles d'Oxford, en 1892, et de Cambridge, en 1894, est membre de la Société royale (qui correspond à notre Académie des sciences), depuis 1854; et le docteur Gilbert, depuis 1860. Tous deux ont reçu de la Société royale, en 1867, une médaille d'honneur, et de la Société des Arts, en 1893, la grande médaille d'or du prince Albert, conférée en leurs mains par le prince de Galles. Tous deux également sont, depuis sa fondation, associés de la Société de chimie, dont M. Gilbert fut le vice-président en 1868 et le président en 1882. M. Lawes est encore aujourd'hui membre du conseil de la Société royale d'Agriculture d'Angleterre.

gleterre[1], ne manque pas de mentionner, parmi les établissements les plus curieux du pays, le laboratoire de chimie agricole de M. Lawes, *alors unique au monde* (1854); celui du même genre, établi à grands frais à l'institut agronomique de Versailles, ayant été détruit. « Un simple particulier, écrit-il, a créé là et soutenu à ses frais une entreprise dispendieuse, qui fait ailleurs reculer des gouvernements et qui sera pour le pays entier d'une immense utilité. Toute l'Angleterre a les yeux fixés sur ses expériences; on en a déjà tiré de précieux renseignements sur les variétés d'engrais qui conviennent le mieux aux diverses espèces de cultures et de terrains. »

Dans un de ses rapports sur la mission qui lui avait été confiée en Angleterre (1850) par le ministre de l'agriculture et du commerce, Payen a fait connaître minutieusement les dispositions de l'ancien laboratoire visité par M. de Lavergne.

« Il est divisé, dit-il, en deux parties : l'une, consacrée aux collections des produits et aux analyses délicates, ressemble aux laboratoires ordinaires; on y remarque une collection d'environ 3,000 échantillons de cendres provenant de substances récoltées, de produits, ou des débris animaux et des déjections solides et liquides.

« Le laboratoire proprement dit, destiné à préparer les échantillons moyens pour les analyses, offre les proportions d'une petite usine manufacturière et permet d'agir sur des masses telles, que les essais acquièrent une valeur pratique incontestable.

« Un générateur de la force de dix chevaux fournit la vapeur nécessaire pour le chauffage de grandes capsules plates de 1 mètre de diamètre, où s'opèrent des évaporations, soit des urines, soit des autres liquides; le service du feu pour ce générateur se fait en dehors, afin d'éviter dans le laboratoire toute poussière provenant, soit du combustible, soit des cendres.

« Une grande étuve en fonte, longue de $2^m,50$, large de $1^m,50$, haute de 1 mètre, chauffée par une double enveloppe de vapeur, sert aux évaporations et aux dessiccations. Pour éviter l'odeur nauséabonde qu'exhalent plusieurs de ces produits, elle dirige, au moyen d'un tube, sa vapeur dans la cheminée.

1. 4e édition, 1863, p. 245.

« Une plaque en fonte, glissant sur des coulisses, facilite l'introduction et la sortie des vases qui contiennent les substances à dessécher et permet d'observer à volonté les progrès des opérations.

« De grands bains de sable, entretenus aux températures convenables, complètent les moyens de concentration, de dessiccation et de chauffage des substances à traiter.

« Un grand fourneau contient quatre moufles de $0^m,60$ de longueur et de $0^m,25$ de largeur, soutenues horizontalement et chauffées au moyen du coke qui les environne. Un courant d'air pénètre à volonté dans les moufles où s'effectuent les incinérations des divers produits végétaux ou animaux, dans le but de déterminer les proportions moyennes de cendres dans les engrais, dans les récoltes et dans les différents produits et résidus de l'alimentation des animaux[1]... »

C'est dans ce laboratoire qu'ont été relégués depuis les appareils remarquables que MM. Lawes, Gilbert et Pugh avaient installés pour vérifier les expériences de Boussingault et de Georges Ville sur l'assimilation de l'azote de l'air par les plantes.

Dès 1854, les agriculteurs du comté de Herts, voulant reconnaître les avantages qu'ils avaient tirés des recherches de MM. Lawes et Gilbert, prirent l'initiative d'une souscription publique, à l'effet de construire un laboratoire modèle, devant le pré communal de Harpenden, et de l'offrir à M. Lawes, au lieu de celui qui vient d'être décrit. La place avait fini par manquer, et l'installation se ressentait des inconvénients dus à l'origine même du bâtiment.

Un comité local, présidé par M. F. Gough, M. Overman étant trésorier et M. Kerl, de Harpenden, secrétaire, se mit à l'œuvre et recueillit en peu de temps, dans tout le pays, les fonds nécessaires pour construire le laboratoire, d'après les plans et les devis fournis par M. J. C. Gilbert, architecte à Nottingham. Le 19 juillet 1855, le comte de Chichester, assisté de sir John Tylden, du révérend agronome Huxtable, de sir E. Baker et de l'élite des agriculteurs et propriétaires de l'Angleterre et des environs de Rothamsted, remit solen-

---

1. *Mission de M. Payen en Angleterre. Rapports à M. le Ministre de l'agriculture et du commerce.* Paris, Imprimerie nationale, décembre 1850, p. 40.

nellement à M. Lawes, au nom du comité, le nouvel édifice ainsi que deux magnifiques candélabres en métal massif, à la fabrication desquels le reliquat de la souscription avait servi. Sur ces deux pièces d'orfèvrerie figure l'inscription suivante :

« Offert, à titre d'apanage, à John Bennet Lawes, de Rothamsted (comté de Herts), en même temps qu'un laboratoire construit pour lui et sur son domaine, à l'aide des deniers publics, comme témoi-

Fig. 6. — Rothamsted. Vue du laboratoire de MM. Lawes et Gilbert.

gnage de gratitude pour les éminents services qu'il a rendus à la science et à la pratique de l'agriculture : ce 19 juillet 1855. »

De cette présentation mémorable, nous ne retiendrons que les dernières paroles du discours adressé par le comte de Chichester à M. Lawes.

« Je n'essayerai pas, dit le noble lord, de narrer ce que vous doit la cause agricole dans ce pays. En effet, tant que nous aurons des cultivateurs sachant lire et voulant connaître les conditions des progrès qu'ils ont réalisés ; tant que nous aurons des fermiers prêts à

tirer profit de l'expérience scientifique; tant que l'on regardera comme essentiel pour l'agriculture et pour la nation, de produire le plus possible d'aliments animaux et végétaux avec la plus grande économie ; tant que l'on se proposera de développer le rendement des céréales, d'activer la croissance des légumineuses et de protéger les racines contre la maladie, cette journée figurera comme une des plus glorieuses pour l'agriculture, et votre nom, Monsieur Lawes,

Fig. 7. — Vue perspective de l'intérieur de l'avant-laboratoire.

sera estimé et honoré à l'égal de ceux des plus grands bienfaiteurs de notre pays. J'exprime ici tout haut les sentiments que chacun des assistants éprouve intérieurement, et je souhaite que vous puissiez longtemps jouir des marques de sympathie et de respect que nous professons tous pour votre personne, en souvenir des bienfaits que vous avez rendus à l'agriculture[1]. »

Le nouveau laboratoire, vu du parc (fig. 6), avec son revêtement

1. *The Herts Guardian,* 28 juillet 1855.

en briques blanches et ses deux toits d'angle, étagés à la flamande, a le caractère qui convient à l'asile de l'étude et de l'enseignement. L'architecture en est simple, sans être banale. Les grandes baies de la façade, surmontées de leurs frontons, découpent symétriquement l'édifice et admettent la lumière sous la meilleure exposition.

En plan (fig. 9), le bâtiment a la forme d'un parallélogramme de 55 mètres sur 65 mètres environ, dont les ailes en avant-corps flanquent les deux principales pièces de manipulation.

L'aile de gauche, à partir de la façade, renferme :

1° La salle des fourneaux, où se font les combustions organiques et les opérations nécessitant l'usage des fourneaux ;

2° La salle des balances ou des pesées, et des instruments de précision, dans laquelle ont lieu les expériences délicates de densité, de températures ; les observations au microscope, les travaux de bactériologie, etc. ;

3° Le magasin du matériel, verrerie, poterie, et des produits, où la lampe d'émailleur a sa place ;

4° Le dépôt des combustibles : charbon de bois, houille et coke, avec le water-closet.

Ce dernier dépôt a un accès direct au dehors pour le service, et un dans l'arrière-salle de laboratoire qui renferme les foyers à haute température, les moufles, le générateur, etc.

L'aile de droite, dans le même ordre, comprend :

5° Le cabinet particulier, avec la bibliothèque et les casiers à correspondance ;

6° Les archives et le dépôt des registres et documents courants du laboratoire ;

7° Le vestibule par lequel on entre dans le batiment ; l'escalier de ce vestibule conduit à l'étage supérieur ;

8° Le laboratoire particulier de M. Gilbert.

Entre les ailes se trouvent les deux laboratoires proprement dits, vastes salles d'égales dimensions (12 mètres $\times$ $7^{m},70$). Le premier, ou avant-laboratoire, dont les figures 7 et 8 représentent la vue perspective, forme un vaisseau très élevé, éclairé par trois fenêtres de façade et par le vitrage du toit en ogive surbaissée. Dans cette salle s'exécutent surtout les travaux délicats d'analyse et de classement

des produits, à l'abri des poussières et des fumées des foyers. L'étuve à bain de sable, dont la grande cage vitrée occupe la paroi du fond, est desservie extérieurement par un foyer spécial. Cinq portes établissent la communication directe, soit avec le vestibule et le cabinet particulier, soit avec la salle des combustions, l'arrière-laboratoire, le magasin, et, par ce dernier, avec la salle des balances.

Fig. 8.
Autre vue perspective, plus récente, de l'avant-laboratoire et des galeries de collection.

Le second laboratoire du fond (fig. 9) encadre une salle spéciale des foyers à températures élevées, dont les parois sont occupées, à gauche, par les fours de fusion ou à creusets ; au fond, par les fourneaux du générateur à vapeur et du bain-marie ; à droite, par les fours à moufles ; enfin, à l'avant, par le foyer de l'étuve à bain de sable. Il résulte de cette excellente disposition que toutes les poussières de charbon et de cendres, les vapeurs fuligineuses, sont concentrées sur un même point, et que la distillation à l'alambic, l'éva-

poration à l'étuve, l'incinération dans les moufles, sont à l'abri des inconvénients causés par le service des grilles. Un seul foyer se trouve dans la salle à l'arrière, celui qui chauffe l'étuve à bain de sable du laboratoire particulier.

L'étage supérieur du bâtiment (fig. 10) consiste en une pièce, ou séchoir, éclairée par le toit qui recouvre la salle des foyers, et en une

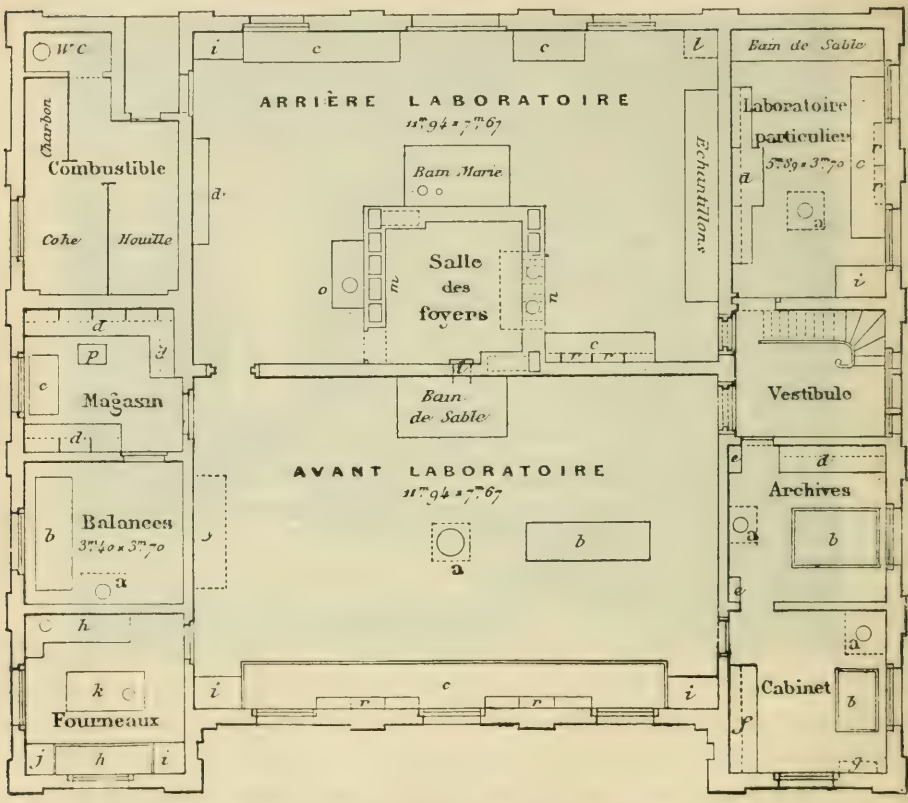


FIG. 9. — Plan du rez-de-chaussée du laboratoire.

LÉGENDE DES FIGURES 9 ET 10.

a a a, Poêles de chauffage;
b b b, Tables;
c c c, Tables de manipulation, avec tiroirs;
d d d, Armoires et casiers;
e e, Casiers pour répertoires et cartonniers;
f, Bibliothèque;
g, Casiers pour correspondance et copie-lettres;
h h, Paillasses et hottes;
i i i, Eviers;
j j, Charbonniers;
k k, Fourneaux de combustion;
l l, Foyers des étuves à bains de sable;
m, Fours de fusion;
n, Moufles;
o, Alambic pour l'eau distillée;
p, Lampe d'émailleur;
r r r, Cases à réactifs.

galerie qui fait le tour du séchoir pour se continuer intérieurement autour du laboratoire de face. Les figures perspectives donnent une idée exacte de l'aspect de cette dernière galerie.

La salle de dessiccation, avec son poêle au centre, est circonscrite par des treillis ou grillages horizontaux, correspondant aux carneaux des foyers inférieurs, sur lesquels s'opère le séchage des plantes et

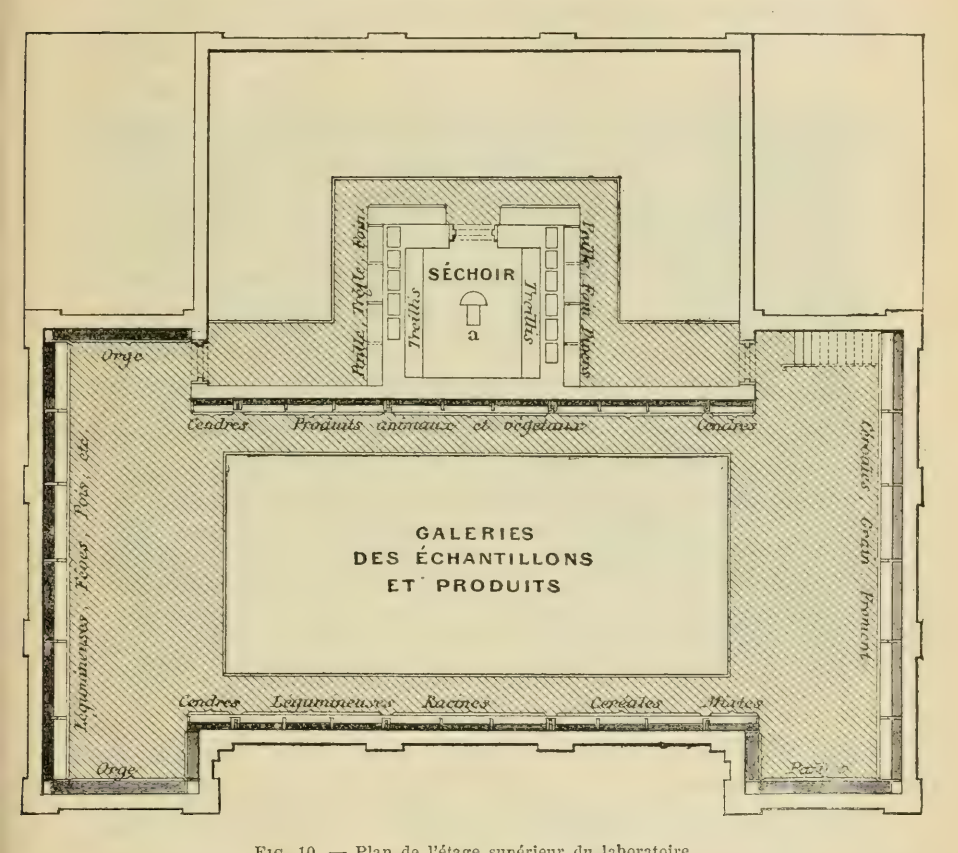


Fig. 10. — Plan de l'étage supérieur du laboratoire.

des produits, à une température que des registres permettent de régler à volonté.

La galerie, qui a la largeur des ailes sur les deux faces latérales seulement, est occupée par des armoires vitrées et des casiers, où sont méthodiquement rangés les produits recueillis et soumis à l'ana-

lyse, depuis que les recherches ont commencé. Chaque spécimen, enfermé dans un flacon hermétiquement bouché, qu'il appartienne au règne animal, végétal ou minéral, est étiqueté et référé par son étiquette aux répertoires volumineux, ou aux catalogues tenus à jour par les statisticiens, dans la salle des archives; de telle sorte que l'analyse de n'importe quel produit pourrait être refaite et contrôlée à quarante ans d'intervalle, s'il y avait lieu.

C'est surtout en parcourant cette galerie et à la vue de la vaste armée de flacons répertoriés, que le visiteur saisit matériellement l'importance des recherches auxquelles les deux savants de Rothamsted ont voué leur existence. A l'une de nos visites en 1868, le Dr Gilbert nous apprit qu'il y avait huit mille échantillons de tous genres déjà analysés. Leur nombre a tellement augmenté depuis, qu'en 1888, sir Bennet Lawes dut faire construire un bâtiment annexe spécial, comprenant deux grandes salles, éclairées à la partie supérieure; l'une garnie sur son pourtour de casiers en fer pour étager les bocaux (fig. 11), et l'autre, contenant une presse à paquets et un nouveau séchoir. Dans une conférence faite à Washington, en 1891, M. Robert Warrington, attaché pendant une douzaine d'années, comme chimiste, aux usines de produits chimiques de M. Lawes, puis, de 1876 à 1890, au laboratoire de Rothamsted, pour l'étude des sols, évaluait à 41,000 le nombre d'échantillons collectionnés. Combien y en a-t-il aujourd'hui?

Blé, orge, avoine, grains et pailles; trèfle, fèves, haricots, pois, plantes des prés et foin, turneps, mangolds, betteraves, etc., avec leurs cendres respectives; os, graisses, tissus des animaux (bœufs, moutons et porcs); engrais de toutes sortes; résidus d'eaux de drainage et d'irrigation, de malteries, de panification, etc., tous sont là, année par année, depuis 1840, s'ajoutant sans cesse et payant chacun leur tribut à la science agronomique.

Le Dr Gilbert préside seul encore à tous les travaux du laboratoire.

Un chef des cultures reçoit les instructions des deux savants pour les champs d'expériences : préparation du sol, composition et distribution des fumures, assolements; soins à donner à la culture; récoltes, pesées, remise des échantillons au laboratoire.

Sous les ordres du chef du laboratoire travaillent deux, et parfois

trois aides chimistes, dont l'un s'occupe spécialement de déterminer la matière sèche et les cendres, et de classer les résidus des analyses ; l'autre, des analyses organiques et des recherches délicates.

Deux garçons de laboratoire font le service intérieur, tandis que le service extérieur occupe nombre de journaliers, suivant les exigences des cultures et des récoltes.

Pour certains travaux exceptionnels, tels que ceux de la détermination botanique des plantes des prés, des graminées, etc., un

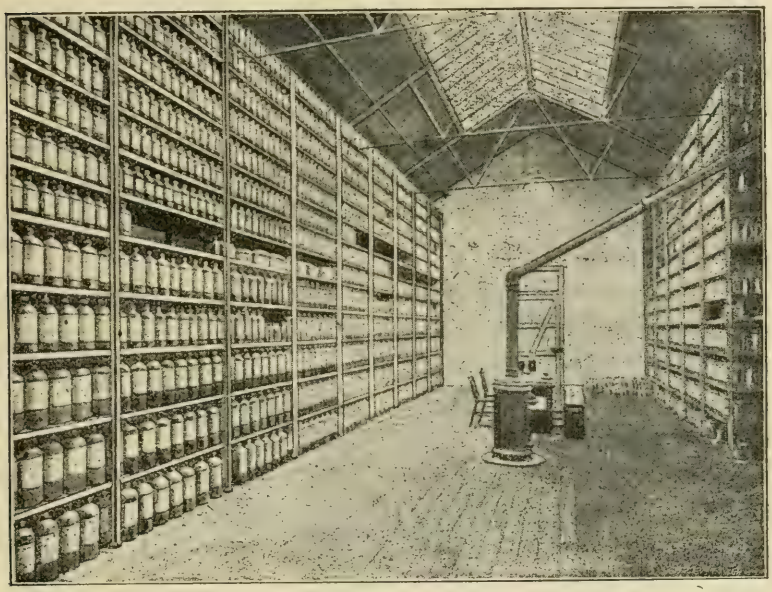


Fig. 11. — Bâtiment annexe du laboratoire ; vue perspective de l'intérieur.

botaniste a été depuis longtemps engagé à Rothamsted, sur la recommandation des directeurs de Kew-Garden. Il est assisté d'un préparateur et de trois à six garçons pour la cueillette et le classement.

Enfin, quatre employés à poste fixe sont chargés de relever journellement les résultats des champs d'expériences et des analyses de laboratoire, ainsi que les observations météorologiques ; de les inscrire ; de les développer sous forme de tableaux ; de délivrer, à toute réquisition, les copies des documents qui sont nécessaires, et de vaquer à la correspondance journalière.

Grâce au concours de ce personnel dévoué, parmi lequel ont figuré des savants de marque : Dr Pugh, Richter, Warrington, Willis, Miller, etc., à l'ordre méthodique qui a invariablement régné dans les opérations, à l'installation remarquable des champs d'essais et du laboratoire, MM. Lawes et Gilbert ont réussi à éclairer d'une vive lumière les problèmes les plus difficiles de la physiologie et de l'agriculture.

5. — Un chapitre d'histoire.

Pour exposer les travaux de MM. Lawes et Gilbert sur les engrais et la culture, il convient de remonter à l'origine, pour ainsi dire, des connaissances modernes en chimie agricole, et de retracer celles dont l'agriculteur disposait au début de leurs investigations.

C'est un chapitre d'histoire indispensable, si l'on veut constater ce qu'était la question si complexe de la nutrition minérale des végétaux en 1846, au moment où ils publiaient les résultats de leurs premiers travaux.

On le sait, Bernard de Palissy, François Bacon, avaient entrevu déjà, au XVIe siècle, le rôle nécessaire des matières minérales comme aliments des plantes. La valeur qu'ils reconnaissaient au fumier était attribuable, dans leur croyance, aux *sels végétatifs*, au *nitre*, ou aux principes minéraux.

L'immortel Lavoisier, à la fin du siècle dernier, rendait compte du système d'investigations qu'il avait organisées sur ses fermes, relatives au rendement des terres, à la quantité de prairies et de bétail nécessaire à une exploitation rationnelle. Ainsi, en principe, l'idée de la nutrition minérale et celle de la culture expérimentale, basée sur l'emploi de la balance, apparaissent avant notre siècle ; mais c'est à partir de 1800 seulement, que le Genevois Th. de Saussure reprend, ou fonde, pour mieux dire, les recherches chimiques et physiologiques sur la végétation.

Théorie de l'humus. — De Saussure, en étudiant les relations entre la composition des cendres des végétaux et celle du sol, reconnaît bien quelque importance aux résidus incombustibles des plantes. Les matières minérales, pour lui, ne sont pas accidentelles dans les plantes ; leur nature varie avec les terres ; le phosphate de chaux et

la potasse font partie de toutes les cendres des végétaux, et ceux-ci n'absorbent pas en même proportion les substances que contient à la fois une même dissolution. Cependant, il conclut que « ce sont les extraits végétaux et animaux qui déterminent la valeur du sol en agriculture ». Aussi, ses travaux contribuent-ils pour une large part à confirmer la doctrine qui a cours alors, et que l'on désigne sous le nom de doctrine de l'*humus*.

L'*humus*, substance noirâtre, partie constitutive du terreau, provenant de la décomposition dans le sol des débris végétaux, avant que leur substance disparaisse sous forme d'eau, d'acide carbonique, d'ammoniaque, etc., passe alors pour l'élément fertilisateur par excellence. C'est le suc nourricier des plantes cultivées, qui partage, avec l'air et l'eau, les fonctions de leur alimentation.

Sir Humphry Davy reproduit cette même théorie, malgré les recherches importantes qu'il poursuit sur l'intervention de l'ammoniaque et des sels dans la végétation.

Plus tard encore, en 1839, Berzélius ne voit dans le sol « qu'une influence mécanique par rapport à la plante. La chaux, les alcalis de la cendre n'agissent qu'en transformant plus rapidement les matières en humus ».

Payen, qui signe l'article *Engrais* dans la *Maison rustique*, range les engrais minéraux (le plâtre, les cendres, les nitrates, etc.) sous le titre de *stimulants*, et parle de la conductibilité et des courants électro-chimiques, développés par les sels neutres et alcalins.

Voilà pour les chimistes et les naturalistes ! Les praticiens agronomes ne sont guère plus avancés.

Thaer fait de l'humus l'étalon destiné à mesurer la fécondité de la terre. « Si les engrais minéraux ne contiennent aucune matière organique, ils n'opèrent exclusivement ou essentiellement qu'en favorisant la décomposition. » Pour Mathieu de Dombasle, les substances minérales ne sont ni des engrais, ni des aliments des plantes. Enfin, Schwerz, renonçant à toute explication, déclare que « les merveilleux effets de l'engrais organique sont incompréhensibles ».

Tous sont à peu près d'accord avec de Saussure et, plus tard, avec Sprengel, pour affirmer que la vie végétale dépend de la circulation de matières organiques, c'est-à-dire de matières ayant elles-

mêmes déjà vécu. En dehors de cette circulation, il n'est pas possible d'accroître la production par l'agriculture.

Pourtant, les sols, les végétaux et leurs cendres sont analysés en grand nombre ; l'expérimentation directe de divers engrais, à l'aide de la balance, inaugurée par Lavoisier, n'a encore permis de voir de rôle essentiel, indispensable, dans la culture, que celui des matières organiques ou humiques. Il fallait parvenir à démontrer qu'un végétal peut vivre et prospérer loin de tout humus, et ce n'était pas démontré.

Boussingault, dont les magnifiques recherches sur l'origine de l'hydrogène et de l'azote dans les végétaux, sur la fonction des feuilles dans la nutrition des plantes, ont porté une vive atteinte à la thèse si absolue de Thaer, affirmait encore en 1838, dans la *Discussion des assolements,* que « la fertilité normale du sol ne peut s'entretenir que si on lui rend des quantités égales après chaque rotation ». Mais cette restitution ne s'applique qu'aux substances organiques, dont l'assimilation se ferait directement par le végétal. Les conditions meilleures des assolements seraient donc déterminées, selon lui, par l'évaluation de l'azote des matières organiques, fournies par l'humus ou par l'atmosphère.

Théorie minérale. — On est arrivé ainsi en 1840 ! D'importantes découvertes se sont réalisées partout, en chimie comme en physiologie végétale. Sennebier a découvert la composition de l'acide carbonique dans les plantes ; Boussingault, celle de l'eau, et l'emploi de la balance dans l'étude des phénomènes de la végétation ; Dumas et Boussingault ont nettement tracé le rôle réducteur qui résume l'effet général du règne végétal sur le globe, etc. Tout est prêt pour expliquer les principales fonctions de la nutrition des plantes et de l'assimilation ; cependant rien n'est encore coordonné, qui laisse déduire les causes d'épuisement du sol par les récoltes, ou le rôle réparateur des fumiers et des engrais minéraux. C'est alors que Liebig fait paraître sa *Chimie organique appliquée à l'agriculture et à la physiologie*, et, dans cette œuvre magistrale, il formule de toutes pièces une doctrine qui rejette au loin celle de l'humus, regardée avec raison comme l'erreur capitale de l'agriculture ancienne. Cette doctrine

demeure encore inattaquable aujourd'hui, dans la plupart de ses points fondamentaux. Son exposé précède celui de cette admirable leçon de Dumas et Boussingault sur la *Statique chimique des êtres organisés,* du 20 août 1841.

Liebig, partant d'un nombre restreint de faits positifs, définit les rapports qui unissent la plante au monde minéral, et, dès son entrée en matière, il énonce ce fait « que la nature inorganique *exclusivement* offre aux végétaux leurs premières sources d'alimentation ». De l'analyse des cendres des plantes, il tire cette conséquence entièrement neuve que, comme toutes les plantes enlèvent certaines parties minérales au sol, aucune ne saurait l'améliorer, ni le rendre plus fertile pour une autre espèce de plante. « Le principal avantage des assolements consiste ainsi dans les proportions inégales de substances minérales enlevées au sol par les plantes cultivées alternativement dans le même terrain. » De même, il conclut, de l'étude de chacune des matières minérales qui domine dans les cendres des plantes, « que si l'on veut conserver à la terre sa première fertilité, il faut rétablir l'équilibre en silicates, en phosphates, en sels calcaires ou magnésiens » ; ce qui se fait par l'*engrais*.

Il n'y a pas lieu de pousser plus loin l'exposé d'une théorie dont les axiomes sont devenus la base de l'agronomie moderne ; elle a exercé la plus durable influence sur les progrès réalisés en agriculture. Mais il est difficile de passer entièrement sous silence la *fameuse querelle,* comme on l'a appelée, soulevée par cette théorie, entre Liebig, ses ardents élèves, d'une part, et Boussingault, Lawes et Gilbert, et un nombre considérable de savants agronomes de toutes nationalités, d'autre part.

Liebig, par ses généralisations exclusives, par ses affirmations tranchantes, parfois passionnées, jetées en défi à toutes les idées reçues jusqu'alors, devait surtout faire naître les recherches les plus décisives, telles que celles de MM. Lawes et Gilbert, qui élucident les phénomènes les plus complexes de la vie végétale et animale. Cette influence de l'œuvre de Liebig est incontestable.

L'azote. — Sur un des points les plus essentiels de sa doctrine, l'alimentation des plantes en azote, Liebig avait varié. Ainsi, en 1840

et 1842, il avait commencé par affirmer que les sources naturelles de l'azote ne suffisent pas aux besoins de l'agriculture; mais, l'année suivante, frappé des énormes quantités d'azote dont l'analyse décèle la présence dans diverses terres arables, il revient sur sa manière de voir, « après une longue suite d'observations et de réflexions », et abandonne ses anciennes opinions. Il ne s'arrête pas là, car en 1867 il écrit « que la culture ne peut pas épuiser l'azote dans une terre; l'azote n'étant pas un des éléments du sol, mais bien de l'air qui le prête au sol. Ce que perd le sol sur un point est aussitôt remplacé par l'air qui se trouve partout; d'où il résulte que l'infertilité de nos champs ne peut provenir d'un manque d'azote[1] ». Et il ajoute : « Les engrais riches en azote ne produisent par eux-mêmes aucun effet. Leur action dépend du concours des conditions qui assurent leur efficacité : si ces conditions font défaut, le plus grand excès d'engrais n'exerce aucune influence sur le rendement du sol[2]. » C'était bien, en d'autres termes, la conclusion consignée dans la cinquième édition de sa *Chimie*, c'est-à-dire : « Il est donc parfaitement entendu que par l'addition d'engrais azotés, par les sels ammoniacaux seuls, on ne peut augmenter ni la fertilité des champs, ni leur faculté productive; qu'au contraire, cette faculté augmente ou diminue en proportion directe des aliments minéraux que l'engrais renferme. »

Boussingault, dans son *Économie rurale* (1844), n'en avait pas moins maintenu son avis sur l'action prépondérante de l'azote. « Dans tous les temps, écrit-il, les agriculteurs ont admis que les engrais les plus énergiques sont ceux qui dérivent des substances d'origine animale : cette opinion traditionnelle, exprimée dans le langage de la science, revient à dire que les fumiers les plus actifs sont précisément ceux qui renferment la plus forte proportion de principes azotés. » La fertilité rétablie par l'emploi du guano n'est-elle pas due exclusivement à « l'utile intervention des sels à base d'ammoniaque sur la végétation » ? Du reste, il suffit de comparer l'influence du fumier et des cendres de ce même fumier, pour constater, avec Boussingault, que, dans le champ qui reçoit le fumier, 1 de grain en

1. *Théorie et pratique de l'agriculture*, Lille, 1857, p. 14.
2. *Idem*, p. 33.

fournit 14, tandis que dans le champ contigu, qui reçoit les cendres du même fumier, 1 de grain en donne 4.

MM. Lawes et Gilbert, entrés en lice avec les résultats de leurs premières expériences, en déduisent également que les quantités d'azote fournies par « les sources naturelles sont insuffisantes pour les besoins d'une bonne récolte de froment » ; mais Liebig répond que la thèse manque de fondement, et que « toutes les conclusions tirées de leur thèse sont fausses et ne peuvent être maintenues[1] »

Dans son premier travail de chimie agricole (1847), M. Lawes avait d'ailleurs relevé les variations du chimiste de Giessen au sujet de l'azote. « Il est très regrettable, écrit-il, que Liebig ait altéré, dans sa troisième édition, tant de vues et de jugements consignés dans la première. Si bien qu'à la suite d'une visite faite en Angleterre pour se familiariser (comme il l'avoue lui-même dans sa préface) avec l'agriculture pratique, il déclare sans valeur les expériences de Boussingault, dont l'opinion a droit à tout respect, car elle émane d'un savant qui réunit aux connaissances théoriques de la chimie, celles de la pratique de la culture. Sans examiner les mérites des avis divergents que tous deux soutiennent, je crois devoir faire remarquer que si Liebig est tombé dans bien des erreurs, c'est parce qu'il ne s'est pas rendu un compte suffisant de ce qu'est l'agriculture pratique[2]. »

La controverse ne devait pas s'arrêter là, et Liebig, dans son livre qui a pour titre : *Théorie et pratique en agriculture,* dédié à son ami F. Kuhlmann, de Lille, prend véhémentement à partie ses adversaires de Rothamsted, aussi bien que le Dr Wolff, de Hohenheim, et le Dr Stöckhardt, de Tharand. S'il ne convient pas d'insister aujourd'hui, par respect pour la mémoire de Liebig, sur les personnalités dont il ne craint pas de faire usage vis-à-vis de M. Lawes, il importe de rappeler combien il s'agite difficilement, malgré la hardiesse de ses vues, en présence des faits pratiques consciencieusement observés et interprétés. « Pour moi personnellement, dit-il, je n'ai pas le moindre intérêt à la solution des questions qui

1. *Théorie et pratique en agriculture,* 1857, p. 14.
2. *Journ. Roy. agr. Soc. Eng.,* t. VIII, 1847, p. 227.

forment l'objet du débat avec M. Lawes. Si mes opinions sont victorieuses, je ne gagne rien dans l'estime des chimistes et des naturalistes, la seule qui me touche. Et je ne perds pas cette estime si les prétentions de M. Lawes sont triomphantes auprès des agriculteurs, car les chimistes et les naturalistes reconnaissent les vérités que je défends comme autant de lois naturelles, et ils sont parfaitement indifférents à l'issue d'un débat qui n'est pas de leur ressort et ne peut pas, par conséquent, les intéresser[1]. »

Empressons-nous de dire, qu'après ce singulier aveu, les agriculteurs, en donnant raison à M. Lawes, ne se sont pas désintéressés du sujet en litige. Liebig n'a pas perdu, pour cela, quoi que ce soit de l'estime dans laquelle les agriculteurs tiennent, au même titre que les chimistes, les doctrines fondamentales dont son puissant et fécond esprit a doté la science actuelle.

Engrais inorganiques et assolements. — La question de l'azote s'étendit naturellement à celle des engrais minéraux et azotés. Liebig expliquait, en 1867 seulement, que, s'il s'était associé dès 1845 avec quelques amis pour la fabrication d'engrais artificiels, desquels toutes substances organiques étaient exclues, et dont la composition était basée sur l'analyse des cendres, il n'en comprenait pas moins que l'azote exigé pour de hauts rendements devait être fourni à ces engrais sous forme de sels ammoniacaux[2]. A ses yeux, « aucun progrès réel ne semble possible en agriculture, à moins que l'on puisse se rendre indépendant du fumier » ; mais il a toujours sous-entendu,

---

1. *Théorie et pratique en agriculture*, p. 46.

2. D'après M. E. Risler, l'engrais pour le froment, selon la théorie minérale de Liebig, était composé comme suit :

a) Six parties d'un mélange obtenu en fondant ensemble cinq parties de chaux et deux parties de potasse ;

b) Une partie d'un mélange obtenu en fondant égales parties de phosphate de chaux, de potasse et de soude ;

c) Deux parties de plâtre ;

d) Une partie d'os calcinés ;

e) Assez de silicate de potasse pour que son acide silicique représente six parties du tout ;

f) Une partie de phosphate ammoniaco-magnésien ;

Les formules des engrais pour les autres plantes renfermaient des proportions diffé-

dans la composition de l'engrais artificiel, les sels ammoniacaux, et l'on a dénaturé sciemment le sens des définitions qu'il a données des engrais *organiques* et des engrais *inorganiques*.

M. Lawes avait énoncé, « d'après la théorie proposée par Liebig, que le rendement d'un champ s'accroît ou diminue en rapport direct avec l'augmentation ou la diminution des matières minérales contenues dans l'engrais[1] ». Liebig objecte que :

« Les engrais organiques sont ceux qui contiennent des matières organiques », et non pas, comme le prétend M. Lawes, *ceux seulement qui peuvent fournir à la plante, par suite de décomposition, ou de toute autre manière, des principes organiques tels que le carbone, l'hydrogène et l'azote.*

« Les engrais inorganiques sont ceux qui ne renferment pas de matières organiques », et non pas seulement, d'après le sens que donne M. Lawes, *les substances composées des éléments minéraux que renferment les cendres des plantes.*

« D'après les définitions de M. Lawes, ajoute Liebig, l'acide carbonique, l'eau, l'ammoniaque et les sels ammoniacaux ne sont *pas* des substances minérales, et l'engrais *minéral* serait celui qui ne contient *que* les éléments des cendres des plantes... »

« M. Lawes, s'appuyant sur ses fausses définitions, essaie de prouver que j'avais l'intention de *faire éliminer l'ammoniaque de l'engrais,* l'ammoniaque étant une combinaison organique ! ! ! »

La déclaration, dans ces termes, était catégorique, mais bien tardive. Si Liebig était dans le vrai, comme on l'a assuré, en considérant comme des composés minéraux l'eau, l'acide carbonique, aussi bien que l'ammoniaque et l'acide nitrique, sources de l'hydrogène, du

---

rentes des mêmes substances; mais on remarquera, avec M. E. Risler, la faible proportion d'azote que comprend celle pour le froment. « Il n'y en a qu'un peu, donné sous forme de phosphate ammoniaco-magnésien; Liebig admettant *alors* que les plantes en tirent assez de l'atmosphère. » (*Journal d'agriculture pratique,* 1868, t. I, p. 483.)

Les formules des engrais Liebig devinrent l'objet de brevets pris par Muspratt le 15 avril 1845. Les mélanges fondus dans un four à réverbère, furent répandus dans les champs à l'état pulvérisé, mais l'insuccès de l'engrais dit minéral fut complet. (Rapport de Hoffmann sur l'Exposition universelle de 1862.)

1. *Journ. Roy. agr. Soc. Engl.,* VIII, p. 22.

carbone et de l'azote de tous les êtres organiques vivants, il aurait dû l'établir nettement, à une époque où tout éloignait de cette acception, surtout pour les sels ammoniacaux.

Du reste, la plupart des agronomes français et allemands avaient admis l'interprétation donnée par M. Lawes. Payen, revenant de sa mission officielle en Angleterre, écrivait en 1850 ce qui suit :

On avait d'abord admis en Angleterre l'opinion d'un illustre chimiste, M. Liebig, qui pensait que les substances minérales pourraient suffire, soit à l'entretien de la fertilité, soit à l'amélioration des sols en culture. Ce savant n'avait point hésité à prendre part à la fondation d'une manufacture d'engrais où l'on préparait des mélanges de différents sels minéraux destinés à remplacer les fumiers ordinaires. Cette sorte d'engrais incomplet a échoué dans presque toutes les applications qu'on en a faites, et l'établissement n'a pu se soutenir. C'est un résultat négatif bien acquis aujourd'hui à la science agronomique.

Deux autres circonstances remarquables, ajoute-t-il, ont contribué à éclairer les esprits les plus prévenus en faveur de la théorie allemande, que nous avons toujours combattue en France. Au moment même où les mélanges de sels minéraux, employés exclusivement, restaient inefficaces sur le sol, un autre engrais commercial, le *guano,* composé principalement de phosphates, de matières azotées et de sels ammoniacaux, était importé en Angleterre, où il eut le plus grand succès dans toutes les cultures : résultat bien propre à montrer le rôle utile que remplissent les substances azotées dans les engrais ; car, entre la composition du mélange inefficace livré dans la fabrique d'engrais minéraux et celle du guano du Pérou, la seule différence à remarquer, c'est que la substance azotée, absente du premier, abonde dans le second.

Vers la même époque, un large système d'expérimentation était institué sur une grande exploitation agricole par M. Bennet Lawes. Son établissement a été affecté à l'essai en grand des engrais minéraux non azotés, ou azotés, ou mixtes, chacun d'eux étant préalablement analysé. Les résultats des analyses, rapprochés des observations relatives à la végétation des plantes, au volume, au poids et la qualité des produits, permettent de constater chaque année les effets réels des engrais appliqués aux principales cultures [1].

Au demeurant, Liebig n'est pas en peine pour reconnaître que s'il

1. *Rapports à M. le ministre de l'agriculture et du commerce.* Paris, Imprimerie nationale, 1850.

a fait fausse route au début avec ses engrais minéraux, les principes sur lesquels il se fondait n'en demeurent pas moins indiscutables.

Je confesse volontiers, dit-il en 1857, que l'emploi de ces engrais était fondé sur des suppositions qui n'existaient pas en réalité.

Ces engrais devaient amener une révolution complète en agriculture. Le fumier d'écurie devait être complètement exclu, et toutes les substances minérales enlevées par les récoltes, remplacées par des engrais minéraux.

Les rotations ordinaires devaient cesser. On allait connaître celles des plantes qui avaient besoin d'ammoniaque dans l'engrais et celles qui pouvaient s'en passer.

L'engrais devait donner le moyen de cultiver sur un même champ, sans discontinuité et sans épuisement, toujours la même plante, le trèfle, le froment, etc., selon la volonté et les besoins de l'agriculteur.

Je suis convaincu que ces engrais présentaient, sous le rapport de la forme et de la solubilité, de grands défauts ; qu'ils étaient susceptibles d'importantes améliorations ; mais je ne crois pas que les principes sur lesquels est basée leur composition puissent être jamais trouvés inexacts ou faux [1].

Il n'est pas plus en peine pour expliquer ses propres contradictions, d'après le but de généralisation qu'il s'est proposé d'atteindre, et par le besoin de formuler une doctrine chimique agricole, indépendamment des conditions de la pratique.

Il faut se rappeler, ai-je dit dans ma deuxième édition anglaise (*Chimie dans ses applications à l'agriculture et à la physiologie*), que le but de l'auteur n'a pas été d'écrire un manuel systématique de chimie agricole, mais de faire la chimie de l'agriculture. Un système de chimie agricole comprend la théorie et ses applications : un livre qui traite de la chimie considérée dans ses applications à l'agriculture expose les principes chimiques et donne l'explication des phénomènes chimiques que présente la culture des plantes. Un système de chimie agricole ne peut être écrit que par un agriculteur qui connaît les éléments de la chimie ; une chimie de l'agriculture peut être écrite par un chimiste possédant les principes généraux de l'agriculture... Si l'on voulait voir un système dans mon livre, celui-ci pourrait sembler écrit avec le plus grand désordre et plein des plus étranges contradictions... Il n'y est pas question de donner à l'agriculteur des

1. *Théorie et pratique en agriculture*, 1857, p. 53.

conseils pour faire produire à sa terre, de la manière la plus avantageuse le rendement le plus élevé, relativement à certaines plantes. Il n'y est pas question non plus de faire connaître si l'on doit donner ou non, dans l'engrais, de l'ammoniaque au froment, ou d'indiquer les plantes qui en réclament [1].

Ce n'est pas précisément ainsi, comme on le verra, que MM. Lawes et Gilbert avaient entendu le rôle de la chimie agricole, et qu'ils se résignent aux revirements du novateur de Giessen.

Vingt-trois années après l'apparition de la *Chimie appliquée* de Liebig, lorsqu'ils présentèrent le résumé de vingt années d'expériences sur la culture du froment, ils se reportèrent au point initial de leurs recherches, dans un passage de leur mémoire qu'il importe de citer textuellement.

En dehors de l'intérêt historique qui s'y rattache, on y trouve une preuve positive de l'enchaînement des travaux de Rothamsted avec ceux de Bechelbronn.

C'est principalement aux laborieuses recherches de Boussingault en chimie agricole, et aux généralisations de Liebig, basées, pour la plupart, sur ces mêmes recherches, qu'il faut attribuer l'impulsion et la direction des études chimiques, appliquées, il y a un quart de siècle, à l'agriculture.

Si nous omettons les faits, d'ailleurs très importants, constatés par nos devanciers, et qui ont été le point de départ des investigations de M. Boussingault, on peut dire qu'avant 1840, cet expérimentateur infatigable et si rigoureux avait déjà déterminé, autant que les méthodes analytiques connues le permettaient, les proportions des éléments les plus importants fournis par le sol à l'état d'engrais et à l'état des récoltes, pendant plusieurs années d'assolement régulier. Les conclusions sommaires des travaux de M. Boussingault étaient les suivantes :

1° Les récoltes enlèvent au sol une bien plus forte proportion de carbone et d'azote que celle fournie au sol par l'engrais ;

2° Les meilleures soles d'une rotation sont celles qui accumulent le plus d'éléments atmosphériques dans la terre ;

3° Certaines plantes, les légumineuses principalement, accumulent une plus grande quantité de l'azote fourni par l'atmosphère. Non seulement leurs récoltes enlevées au sol renferment plus d'azote, mais encore, leurs résidus laissent dans le sol plus d'azote qu'il n'y en avait auparavant ;

1. *Id.*, 1871, pp. 16, 17.

4° La valeur fertilisante d'un engrais se mesure par la proportion d'azote qu'il contient.

Dans son premier ouvrage sur *la Chimie organique et ses applications à l'agriculture et à la physiologie,* publié en 1840, Liebig démontra plus particulièrement que ne l'avait fait M. Boussingault l'importance des éléments incombustibles, ou des cendres, désignés sous le nom de substances *inorganiques,* afin de les distinguer de l'acide carbonique, de l'eau, de l'ammoniaque, etc., qui constituent en grande partie les organes des végétaux. Il insista, en même temps, sur le rôle important de l'azote ou des substances azotées dans les engrais, susceptibles de produire de l'ammoniaque.

Bientôt après l'apparition de la chimie de Liebig, M. Boussingault donna d'une manière bien plus complète les résultats de ses propres recherches agricoles et les conclusions à en déduire, en accusant plus énergiquement ses idées sur la part importante qu'a l'azote dans les engrais, au point de vue pratique.

En 1843, Liebig publia une nouvelle édition de sa *Chimie,* où il critiqua les expériences de M. Boussingault, condamna ses idées sur l'importance relative de l'azote dans les engrais, et maintint (contrairement à ce qu'il avait exprimé dans sa précédente édition) que l'atmosphère fournit assez d'azote aux plantes cultivées, comme aux plantes non cultivées. Il ajoutait que cette dose d'azote suffit également aux céréales et aux légumineuses ; qu'il était inutile de fournir de l'azote aux céréales. Il insistait ensuite plus vivement que dans la première édition sur le rôle des éléments incombustibles, c'est-à-dire *inorganiques* ou minéraux, et il s'avançait au point de dire :

La fertilité n'est-elle pas indépendante de l'ammoniaque apportée au sol? Que nous évaporions l'urine, que nous desséchions et incinérions les fèces solides, et que nous fournissions à la terre les sels de l'urine et les cendres des fèces solides, les plantes cultivées sur une terre ainsi fumée (graminées et légumineuses) ne tireraient-elles pas leur carbone et leur azote des mêmes sources auxquelles puisent les graminées et les légumineuses de nos prairies? Il peut à peine y avoir de doute sur ces questions, etc.

Plus loin, il affirmait que *les récoltes d'une terre diminuent ou augmentent exactement dans le même rapport que les matières minérales fournies à cette terre par l'engrais*[2].

Enfin, il complétait sa pensée ainsi qu'il suit :

Il a été démontré que l'ammoniaque est un des éléments constitutifs

---

1. Troisième édition, p. 201.
2. *Id.*, p. 211.

de l'atmosphère, et que, comme tel, l'ammoniaque est directement disponible et absorbée par toutes les plantes. Si donc, les autres conditions qu'exige la croissance des plantes sont remplies, si le sol est convenable et renferme une dose suffisante d'alcali, de phosphates et de sulfates, rien ne manquera. Les plantes soutireront l'ammoniaque à l'atmosphère, comme elles soutirent l'acide carbonique. Nous savons qu'elles jouissent de la faculté d'assimiler ces deux éléments ; et je ne vois pas réellement pourquoi l'on chercherait leur présence dans les engrais employés..... La nécessité de l'ammoniaque pour les engrais se réduit à la nécessité d'employer des engrais animaux. C'est de cette solution que dépend tout l'avenir de l'agriculture ; car, si nous pouvons nous passer du fumier de ferme volumineux, en recourant à des engrais artificiels, nous tenons dans nos mains la puissance productive de nos champs.

Les résultats de nos expériences directes, ceux de la pratique générale de l'Angleterre, ont confirmé, en somme, les conclusions de M. Boussingault et condamné celles de Liebig que nous venons de citer.

Dans ses ouvrages plus récents, Liebig reprend affirmativement bien des faits que nous avions avancés de notre côté pour battre en brèche ses propres doctrines. Un exemple suffira. Ainsi, dans ses *Lois naturelles de l'agriculture*[1], au milieu de démonstrations multiples, il dit :

Il est aisé de voir que l'accumulation par le fumier de ferme d'éléments azotés dans la couche supérieure du sol, si essentielle pour le parfait développement des céréales, devra dépendre principalement du bon développement des plantes fourragères.

Liebig est donc ici en contradiction ouverte avec les idées exprimées dans ses écrits antérieurs. Il affirme le rôle important des récoltes accessoires pour les matières azotées, nécessaires au plein développement des céréales.

Cette citation doit clore le long exposé de la polémique engagée sur la théorie *minérale*, terminée par l'acquiescement tardif de Liebig aux faits d'expérience.

MM. Lawes et Gilbert, comme le démontrent les résultats de leurs recherches, peuvent s'attribuer le mérite d'avoir été des premiers à formuler pratiquement la nature des substances indispensables au développement des végétaux cultivés dans la terre arable. Ils ont reconnu, en laissant de côté le sable calciné, l'analyse du sol et les essais physiologiques, quel était le rôle des sels ammoniacaux et des

1. Munich, 1862.

nitrates mêlés aux matières minérales : sulfates alcalins, sulfates de chaux et de magnésie, phosphates, silicates, etc. Et bien que Liebig eut cru devoir écrire qu'« après dix années d'essais, ils n'avaient pas réussi à donner aux cultivateurs *une seule recette* d'engrais efficace, soit pour une contrée, soit pour un terrain, soit pour une plante », ils ont propagé dans la grande culture l'emploi d'engrais composés, et surtout des phosphates acidifiés, en se fondant sur les résultats d'une pratique éclairée par l'analyse, pour les plantes les plus variées.

Comme le faisait très justement observer notre regretté ami, Lecouteux, en quittant Rothamsted, où il nous avait accompagné : « Malgré une expérience de trente ans, malgré l'assiduité avec laquelle MM. Lawes et Gilbert suivent les travaux des autres savants, ils n'en sont pas encore venus à formuler un système de culture universelle qui réduirait le problème de l'économie rurale en une formule d'engrais chimique.

« MM. Lawes et Gilbert croient que les engrais chimiques peuvent produire des plantes de toutes pièces ; que les plantes peuvent dire leur opinion sur chacun des éléments offerts à leur alimentation ; que, dans leur terre, le nitrate de soude développe les graminées prairiales au détriment des légumineuses ; que le succès continu du blé sur un même terrain est surtout une question d'engrais, de bonne culture mécanique et de destruction de mauvaises herbes ; enfin que les assolements doivent surtout se décider par les influences du marché[1]. »

Il est facile, en somme, de déduire de cet historique les conséquences auxquelles les agronomes fussent arrivés, avant les expériences de MM. Lawes et Gilbert, s'ils avaient voulu appliquer la doctrine de Liebig.

Ainsi, les éléments minéraux étant indispensables à la plante pour son développement, le sol devait les fournir d'une manière immédiate : l'humus cessant d'approvisionner la plante en éléments organiques essentiels, l'azote devait lui être fourni extérieurement. Mais,

---

1. *Journal d'agriculture pratique*, 32e année, 1869, t. II, p. 133 : Le Concours de Leicester.

du moment où un sol renfermait assez d'aliments inorganiques, l'atmosphère devait suffire pour fournir l'ammoniaque.

Les cendres des plantes remplaçant avantageusement comme engrais les fèces des animaux, si l'on restituait au sol les sels contenus dans les urines et les déjections solides, l'atmosphère se chargeait de porter à la plante assez de carbone et d'azote. A l'aide d'engrais fabriqués, d'après la composition des cendres des diverses plantes cultivées, le fermier n'avait plus besoin de recourir aux fumiers d'étable ou d'écurie, ni à une rotation définie. Il lui suffisait de choisir des engrais appropriés, pour se livrer à la culture de son choix, ou à une culture répétée sur le même sol. La fertilité du sol se réglait finalement, sous le rapport de la fumure, par l'analyse du sol et des cendres de la plante, ou des plantes à cultiver.

Ces conclusions du théoricien, quelle que fût leur simplicité, n'étaient assurément pas encore celles du cultivateur en 1847, du moins si l'on s'en rapporte à ce qu'écrivait M. Lawes à cette même date, sur l'état de la science agricole et de l'empirisme.

« Il y a lieu de s'étonner, disait-il alors, de l'ignorance où l'on est actuellement quant aux théories agricoles. La pratique remonte aux premiers âges de l'humanité, mais la science de l'agriculture existe à peine. Demandez au fermier le plus habile qu'il vous explique les raisons de la routine qu'il suit journellement? Demandez-lui la valeur ou l'utilité d'un assolement quelconque? quel est l'état d'épuisement relatif du sol après telles ou telles récoltes? quelles matières il faut restituer à la terre pour maintenir son degré de fertilité? quelle est l'influence réelle du climat sur la production, etc.?

« Il répondra vaguement, ou de manière à ne pas vous satisfaire. Or, ces questions, et bien d'autres de même nature, trouvent leur solution dans la science. Il faut pouvoir y répondre par la science, pour affirmer que l'agriculture repose sur des bases sérieuses.

« Sans parler de l'argent que l'on enfouit chaque année en essais inutiles, ne sait-on pas les nombreux inconvénients causés par l'absence de règles fixes? Combien de gens ayant des capitaux se détournent-ils de l'agriculture parce que les bénéfices y sont d'une incertitude proverbiale! Combien de gens aussi, exerçant la profession agricole avec des ressources suffisantes, se refusent à améliorer

leurs terres, faute des connaissances qui leur permettraient de calculer exactement les bénéfices de leurs placements! Aussi, le cultivateur est-il souvent obligé de souscrire par bail à un assolement tout à fait préjudiciable à ses intérêts, parce que telle était la pratique séculaire de ses devanciers. Et cet assolement s'impose aussi bien à un fermier qui dépense 500 fr. à l'hectare, qu'à celui qui en dépense 150[1]! »

Ailleurs, encore, M. Lawes insiste sur le rôle de la science, parallèlement à celui de la pratique éclairée.

« La pratique, dit-il, est assurément un guide sûr et naturel dans tous les arts qui touchent à la condition physique de notre race. Aussi, en agriculture, de même que dans beaucoup d'autres branches de l'industrie humaine, la pratique a réalisé, sans l'aide de la science, des progrès considérables. Mais pour se fier exclusivement à la pratique, il faut pouvoir contrôler les faits avec intelligence et se conduire en profitant des leçons qu'ont données les erreurs du passé. Or, les observateurs qui remplissent ces conditions sont en nombre bien restreint.

« Quoique l'on parvienne, en étudiant certaines pratiques, à démontrer leur compatibilité avec la science, plutôt que leur désaccord fondamental, il est certain qu'un principe scientifique bien défini, facilement expliqué, sert à un bien plus grand nombre de praticiens que la recette empirique la plus habile. Nul ne saurait douter, par cela même, des bienfaits de la science pour améliorer et développer les arts industriels.

« Quiconque, en effet, possède une instruction et une intelligence ordinaires, peut, avec les principes de la science, atteindre promptement le but auquel l'empirisme l'eût amené à la fin seulement de sa carrière.

« En admettant (ce qui n'est pas admissible) que les meilleures pratiques agricoles puissent se passer du concours de la science, et qu'il vaille mieux faire des efforts pour les divulguer que pour les perfectionner, il n'en est pas moins constant que la simple connaissance des principes élémentaires de la végétation met le cultivateur

1. *Journ. Roy. agric. Soc. Engl.*, t. VIII, p. 226. 1847.

à l'abri des pièges dans lesque's la fraude ou l'ignorance le fait inévitablement tomber. Comme d'ailleurs les recherches théoriques tendent à expliquer et à étayer les bonnes et anciennes pratiques, on ne saurait assurément s'opposer au perfectionnement agricole par la science[1]. »

Au surplus, les conseils de M. Lawes aidant, et les résultats des recherches scientifiques de Rothamsted se vulgarisant, la situation révélée par les passages cités ne s'est pas longtemps maintenue, puisque, quinze années plus tard, de Lavergne s'exprimait ainsi : « Rien ne montre mieux les progrès que fait en Angleterre la chimie agricole qu'un quart d'heure de conversation avec le premier fermier venu. Les termes scientifiques sont familiers à la plupart d'entre eux ; ils parlent d'ammoniaque et de phosphates comme des chimistes de profession, et comprennent très bien quel avenir indéfini ce genre d'études peut ouvrir à la production[2]. »

6. — Plan des expériences de culture.

Nous aborderons maintenant le plan même des expériences de culture, instituées à Rothamsted, d'après l'ensemble d'idées générales que les deux agronomes ont fait connaître.

Ces expériences devaient servir à déterminer, pour chacune des plantes de la rotation usuelle, les relations caractéristiques du végétal avec l'atmosphère, le sol et l'engrais.

Dans ses recherches antérieures, Boussingault, voulant fixer les éléments que l'atmosphère, le sol et l'engrais fournissent à l'ensemble des récoltes d'une rotation, avait reconnu que, pour chaque plante individuelle, ses propres expériences, bien que donnant des indications sûres, n'étaient pas concluantes.

MM. Lawes et Gilbert, en vue de leurs essais sur le froment, l'orge, le turneps, etc., firent choix, comme point de départ, d'un sol arrivé à la fin de la rotation de quatre ans, usitée en Angleterre. Comme il n'avait pas été fumé depuis la première année de cette rotation, le

1. *Journ. Roy. agric. Soc. Engl.*, t. VIII, p. 494. 1847.
2. *Essai sur l'économie rurale de l'Angleterre*, 1863, p. 246.

sol se trouvait, par conséquent, dans l'état d'épuisement relatif, où la pratique générale des cultivateurs anglais reconnaît la nécessité d'une fumure. Pour le froment, par exemple, la pièce choisie avait porté consécutivement, depuis la précédente fumure, des turneps, de l'orge, des pois, du blé et de l'avoine. Ils pensaient que des terres, amenées à cet état, convenaient, pour indiquer l'élément, ou les éléments qui feraient défaut à la récolte suivante. Il s'ensuivait que, si, sur plusieurs parcelles, on apportait certains éléments isolés du fumier de ferme, par exemple ; si, sur d'autres parcelles voisines, on apportait ces mêmes éléments à divers états de mélange ; si d'autres parcelles restaient sans engrais, et d'autres, avec du fumier uniquement ; enfin, si l'ensemble de toutes les parcelles était soumis à une même culture, on apprendrait par les résultats comparatifs, mieux que par toute analyse du sol, quels sont les éléments plus efficaces pour la récolte en cours d'expérimentation.

En consultant ainsi la préférence de chaque plante pour tel engrais ou tels éléments d'engrais, MM. Lawes et Gilbert établissaient, dès 1843, ce qui fut présenté bien plus tard comme une nouveauté, à savoir l'analyse du sol par les plantes. Ils font ressortir, en effet, à l'origine de leurs expériences, qu'il reste beaucoup à faire pour déterminer analytiquement les caractères chimiques et physiques des sols, eu égard à l'atmosphère et aux matières fertilisantes. Il importe, selon eux, de perfectionner les méthodes analytiques elles-mêmes, avant de pouvoir se prononcer sur la valeur fertilisante comparative des divers sols et apprécier l'état d'épuisement ou de fertilité d'une même terre, à diverses époques. « On a beaucoup fait assurément, disent-ils, dans cet ordre d'idées. Mais, comme toutes les discussions le prouvent, on a encore trop peu de notions sur les conditions qu'un sol doit remplir ou remplit, au point de vue chimique, pour appliquer directement les données de l'analyse chimique à la solution des problèmes agronomiques. » D'autre part, les résultats obtenus par divers chimistes qui avaient étudié analytiquement les conditions fertilisantes des sols, entre autres par le professeur Magnus, chimiste du *Landes-Œconomie Collegium* de Berlin, confirmaient alors MM. Lawes et Gilbert dans leur plan d'expériences.

Aussi, les savants de Rothamsted ne firent-ils pas, dès le début, l'analyse de leurs terres[1], et le reproche d'empirisme, à ce sujet, ne leur fut pas ménagé par Liebig.

Le caractère synthétique d'expériences ainsi conçues, fondées principalement sur l'étude de l'action des matières fertilisantes au point de vue du rendement, était en parfait accord avec la définition que MM. Lawes et Gilbert donnaient de l'agriculture *pratique*, « qui consiste à accumuler artificiellement certains éléments utilisables pour l'alimentation de l'homme et des animaux, sur une étendue limitée de sol, incapable de les produire, s'il fût resté à l'état naturel ».

Cette définition distingue l'agriculture, telle qu'elle est pratiquée en Angleterre, de celle des pays où la population est moins dense ; où la terre a moins de valeur ; où l'on se borne à enlever les produits sans chercher à les augmenter, en recourant à la jachère.

Le problème, pour les engrais, consiste donc à rechercher les éléments nécessaires afin de maintenir ou d'accroître la fertilité du sol. Si l'on n'avait égard qu'à la composition chimique des récoltes enlevées, la solution serait simple. S'il suffisait au fermier qui a envoyé à la ville une voiture de grain, de rapporter les quelques kilogrammes de substances minérales contenues dans les cendres de ce grain, et de les rendre au sol pour en tirer l'année suivante la même récolte, le problème serait aisément résolu. Mais les plantes agricoles ne se comportent pas de la même manière, vis-à-vis du sol, du climat, de la fumure et du rang qu'elles occupent dans la rotation, outre qu'elles jouissent de facultés très différentes par rapport à l'atmosphère. Si les céréales agissaient sur les matières organiques, naturelles ou artificielles, à la façon des légumineuses et des crucifères, pourquoi le fermier cultiverait-il ces dernières ? Avec le trèfle, avec la prairie, le cultivateur recherche surtout le développement herbacé des tiges

---

1. Dans ces trente dernières années, les sols de Rothamsted ont été souvent analysés. MM. Lawes et Gilbert ont fait de nombreux dosages d'azote (Nottingham : 1866) ; le fils de Liebig a publié, en 1872, les analyses des terres de Broadbalk, affectées à la culture du blé ; et depuis lors, les dosages et les analyses complètes des terres des différentes parcelles en expériences se sont succédé sans interruption jusqu'à ce jour. L'étude analytique des sols et de leur nitrification a spécialement occupé le chimiste Warington, jusqu'en 1890.

et des feuilles, qui sont les organes primaires de la plante ; au contraire, avec le turneps, avec le mangold, il recherche le développement des bulbes ou des organes intermédiaires ; enfin, avec les céréales, les fèves, etc., il veut produire la graine, c'est-à-dire l'organe final. « De là, deux conditions bien distinctes auxquelles doivent se plier les plantes agricoles : l'une qui implique une circulation plus ou moins active des éléments nutritifs ; l'autre, qui exige l'élaboration complète et la fixation définitive de ces éléments. Dans le premier cas, l'eau entre pour plus des trois quarts dans le produit de la végétation ; dans le second, elle n'atteint pas le cinquième. »

D'ailleurs, le climat même régit ces conditions, et, par climat, il faut entendre la quantité d'eau pluviale, le nombre de jours de pluie et la température, pendant la croissance active, aussi bien que pendant la fructification des plantes.

Les engrais demandent aussi à être étudiés, non seulement pour les éléments qu'ils apportent à la substance intrinsèque des récoltes, mais encore comme des agents dont l'effet favorable ou défavorable dépend de l'état de combinaison, ou de mélange de leurs éléments et de leur appropriation au sol et au climat.

Enfin, la rotation exerce une grande influence, en ce sens qu'elle établit quels sont les éléments absorbés de préférence à tels autres, par les récoltes successives. En effet, on remarque que la culture prolongée du froment est en rapport très intime avec la quantité d'azote fournie au sol ; mais, comme les sels ammoniacaux ou les composés azotés deviennent de plus en plus rares et dispendieux, la rotation, aidée du fumier et du bétail, doit suppléer à cette source d'azote, quand il s'agit de maintenir la fertilité. Cette pratique est d'autant plus économique que, si l'on accumule ainsi de l'azote dans le sol, on y accumule également des matières minérales et carbonées.

L'efficacité des récoltes alternes, ou de la rotation, n'étant pas douteuse, l'étude de la composition, du port et de l'alimentation de chaque plante, dans une rotation, fera ressortir les différences essentielles de ses fonctions particulières. Jusqu'alors, on avait été amené, par de simples affinités botaniques, ou par des observations superficielles, à définir le rôle des plantes dans l'assolement agricole.

Ainsi, le turneps offrant une grande surface à l'action atmosphérique par ses feuilles, on avait recommandé l'emploi d'engrais azotés, croyant assurer par là le développement des bulbes, sans rechercher s'il était contraire ou favorable à la santé de la plante et à sa faculté de reproduction.

Il en a été assez dit pour faire saisir la portée pratique d'expériences conçues dans le but de rechercher quelles sont les conditions effectives de végétation de chaque plante, en faisant varier celles de son alimentation, par l'engrais et l'atmosphère.

PREMIÈRE PARTIE

EXPÉRIENCES CULTURALES

LIVRE II. — LES CÉRÉALES

I. — LE FROMENT

Les expériences de culture du froment se réfèrent à trois catégories d'observations très complètes, à savoir :

a) Sur le champ de Broadbalk (Rothamsted), déjà décrit et consacré au froment depuis trente années ;

b) Sur d'autres champs, tant à Rothamsted qu'à Holkham Park (comté de Norfolk), et à Rodmersham (comté de Kent) ;

c) Sur les effets des saisons et des fumures, relativement à la composition du grain.

a) ESSAIS DE BROADBALK FIELD

Première période (1844-1872).

La première série a été l'objet de nombreux mémoires successifs. Ainsi les résultats des trois premières années, de 1844 à 1846, à

Broadbalk, ont été présentés en 1847[1] ; ceux des huit premières années (1844 à 1850), en 1851[2] ; ceux des douze premières années (1844 à 1855), en 1855[3]. D'autres expériences, sur un champ voisin de Broadbalk field, dans le but d'étudier le système de culture proposé par M. Smith, sous le nom de Lois Weedon, c'est-à-dire du nom de sa ferme, ont donné lieu à des résultats, relevés pendant quatre années consécutives (1851 à 1855) et résumés dans un mémoire spécial en 1856[4]. Enfin, l'ensemble des vingt premières années de culture du froment sur la pièce de Broadbalk a été analysé dans un remarquable rapport, de beaucoup le plus important par ses conclusions[5].

En 1843, lorsque les expériences s'installaient sur la pièce de Broadbalk, elle pouvait passer pour une terre à blé de qualité moyenne, car elle rendait de 22 à 24 hectolitres de grain tous les cinq ans. Le prix de terres semblables, dans le voisinage immédiat, variait entre 75 et 90 fr. à l'hectare, franc d'impôt de la dîme (*tithe free*).

Le terrain consiste en une argile forte, reposant sur un sous-sol d'argile jaune rougeâtre, supérieur à la craie, et offrant un bon drainage naturel.

De 1843 à 1848, le blé cultivé appartenait à la variété *Old Red Lamma ;* de 1849 à 1852, à la variété *Red Cluster*, et, depuis 1853, à la variété dite *Red Rostock*.

Pendant les vingt premières années, le rendement le plus faible, correspondant à la première année, a été de $13^{hl},47$, et à la vingtième année, de $15^{hl},45$; tandis que le rendement le plus fort, correspondant à la première année, a été de $21^{hl},76$, et à la vingtième année, de $50^{hl},70$.

Ces seuls chiffres extrêmes révèlent l'intérêt de pareilles expériences, pour le praticien, aussi bien que pour l'économiste et le savant.

---

1. *Journ. Roy. agric. Soc. Engl.*, t. VIII, 1847.
2. *Idem*, t. XII, part. I, 1851.
3. *Idem*, t. XVI, 1855.
4. *Idem*, t. XVII, part. II, 1866.
5. *Idem*, t. XXV, part. I et II, 1864.

Engrais. — MM. Lawes et Gilbert, en ayant égard aux éléments des cendres du grain et de la paille du froment, s'étaient proposé de fournir de la potasse, de la soude, de la chaux, de la magnésie, des acides phosphorique et sulfurique, du chlore et de la silice, sous la forme la plus assimilable et la mieux appropriée à la plante. Si l'on néglige les éléments minéraux apportés au sol par le fumier ordinaire, la paille hachée, le tourteau, ou par les cendres de fumier et de paille, également expérimentés comme engrais, les diverses substances minérales ont été suppléées dans l'engrais, sous les formes suivantes :

Potasse, à l'état de cendres, de sulfate et de silicate ;

Soude, à l'état de cendres et de sulfate ;

Chaux, à l'état de sulfate, de phosphate et de superphosphate ;

Magnésie, à l'état de carbonate et de sulfate ;

Acide phosphorique, à l'état de cendres d'os, traitées le plus souvent par de l'acide sulfurique, de façon à transformer une grande partie des phosphates de chaux insolubles en phosphates solubles et en sulfate ;

Acide sulfurique, à l'état de sulfate de potasse, de soude ou de magnésie, et dans le mélange phosphaté ;

Chlore, à l'état d'acide chlorhydrique (avec cendres d'os), ou de chlorure de sodium (sel marin), etc. ;

Silice, à l'état de silicate de potasse artificiel, obtenu en fondant ensemble des parties égales de sable et de potasse carbonatée (*pearl ash*).

Indépendamment de ces substances, que Liebig avait d'abord définies comme engrais *inorganiques,* le froment a reçu de l'azote et des matières organiques non azotées.

L'*azote* a été fourni à l'état de sulfate, de chlorhydrate et de carbonate d'ammoniaque, ou de nitrate de soude, ainsi que dans le fumier et les matières azotées des tourteaux, etc.

Les *matières non azotées,* donnant par leur décomposition de l'acide carbonique et d'autres produits, comprenaient les tourteaux de navette, le riz, la paille, le fumier.

Distribution. — L'engrais, ou le mélange des substances formant l'engrais, destiné à chaque parcelle, a été mécaniquement broyé,

avec assez de cendres argileuses, pour occuper un volume approprié à la distribution. Dans les premières années, la distribution s'est faite au semoir, puis à la main, afin d'être maître de la limiter à l'espace voulu, et, finalement, à l'aide d'un semoir spécial pour les expériences.

Parcellement. — La pièce de Broadbalk, d'une superficie de $5^{ha},66$, fut d'abord partagée en parcelles, comprenant, pour la plupart, deux bandes d'une largeur de $3^{m},80$ et de la longueur du champ, et occupant environ 27 ares. A partir de la deuxième année, on subdivisa chaque parcelle en deux, bien que, le plus souvent, les deux divisions dussent recevoir la même fumure ; mais on avait ainsi l'avantage d'une double expérience avec la même fumure (fig. 12).

Dans les premières années, on tenait surtout à établir certains points particuliers, tels que : l'action isolée des substances minérales ; la nécessité de pourvoir le sol de matières carbonées ; les effets d'une fumure partielle ou surabondante pour une récolte, par rapport à la récolte suivante. Dès la quatrième année, les engrais furent appliqués plus uniformément, mais en maintenant des différences dans la composition, et surtout dans les quantités, jusqu'à la huitième récolte. C'est seulement à partir de la neuvième, qu'il fut résolu de fournir chaque année le même engrais, en même quantité, à chaque parcelle.

Tableaux de culture. — Les détails de la culture du froment : formules et quantités d'engrais, rendements en grain et paille, ont été enregistrés, chaque année, dans un tableau identique à celui qui est reproduit pour la vingt-huitième saison (1871), et qui offre en outre le résultat moyen des vingt années antérieures, 1852 à 1871.

Le tableau I[1] donne lieu à une remarque au sujet des bandes *a* et *b* des mêmes parcelles. Les bandes de terrain ont reçu le même engrais, sauf dans les années 1864 à 1867, pendant lesquelles les bandes *a* des parcelles 5, 6, 7, 8, 9, 16 et 17 ou 18 reçurent additionnellement un mélange de silicates solubles. Comme les silicates ne

1. *Memoranda of the plan and results of the Field experiments at Rothamsted.* May 1872.

produisirent aucun effet, on les remplaça, depuis 1868, par de la paille hachée sur les bandes *a* des parcelles n°s 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14 et 17 ou 18.

Outre les vingt tableaux semblables au tableau I qui reproduit les moyennes, et correspondent à ceux des premières années, MM. Lawes et Gilbert ont groupé les données les plus importantes de cette première période dans cinq tableaux comprenant, chaque année, pour la moyenne de vingt ans (1844 à 1863), et pour la moyenne de douze ans (1852 à 1863), le volume à l'hectare de grain vanné et le poids de l'hectolitre, le poids du grain, le poids de la paille et des balles, et le rendement total en poids, grain et paille, à l'hectare, sur chaque parcelle.

Rendements moyens. — Les moyennes générales réunies dans le tableau I^1, pour faire ressortir les résultats ainsi classifiés, ont permis d'apprécier :

1° L'action de chaque engrais, comparée à celle des autres années ;

2° La différence dans l'efficacité du même engrais, dans telle saison par rapport à telle autre saison ;

3° L'efficacité croissante ou décroissante de tel engrais répété tous les ans sur la même parcelle.

Dans leur mémoire de 1864, MM. Lawes et Gilbert assignent les traits caractéristiques à chacune des années, au point de vue météorologique, comme à celui du rendement et de la qualité de la récolte ; en même temps qu'ils procèdent à l'examen comparatif des deux années extrêmes 1853 et 1863, c'est-à-dire de l'année la plus favorable et de l'année la plus défavorable, comme aussi des périodes des huit premières années (1844-1852) et des douze années suivantes (1852-1863), par rapport à la période totale; eu égard à leur production.

Épuisement des engrais. — Un chapitre très intéressant de ce volumineux travail se réfère à l'action du résidu des fumures non épuisées, au profit des récoltes suivantes. C'est là un sujet souvent discuté par les praticiens, pour savoir quelle est la persistance d'ac-

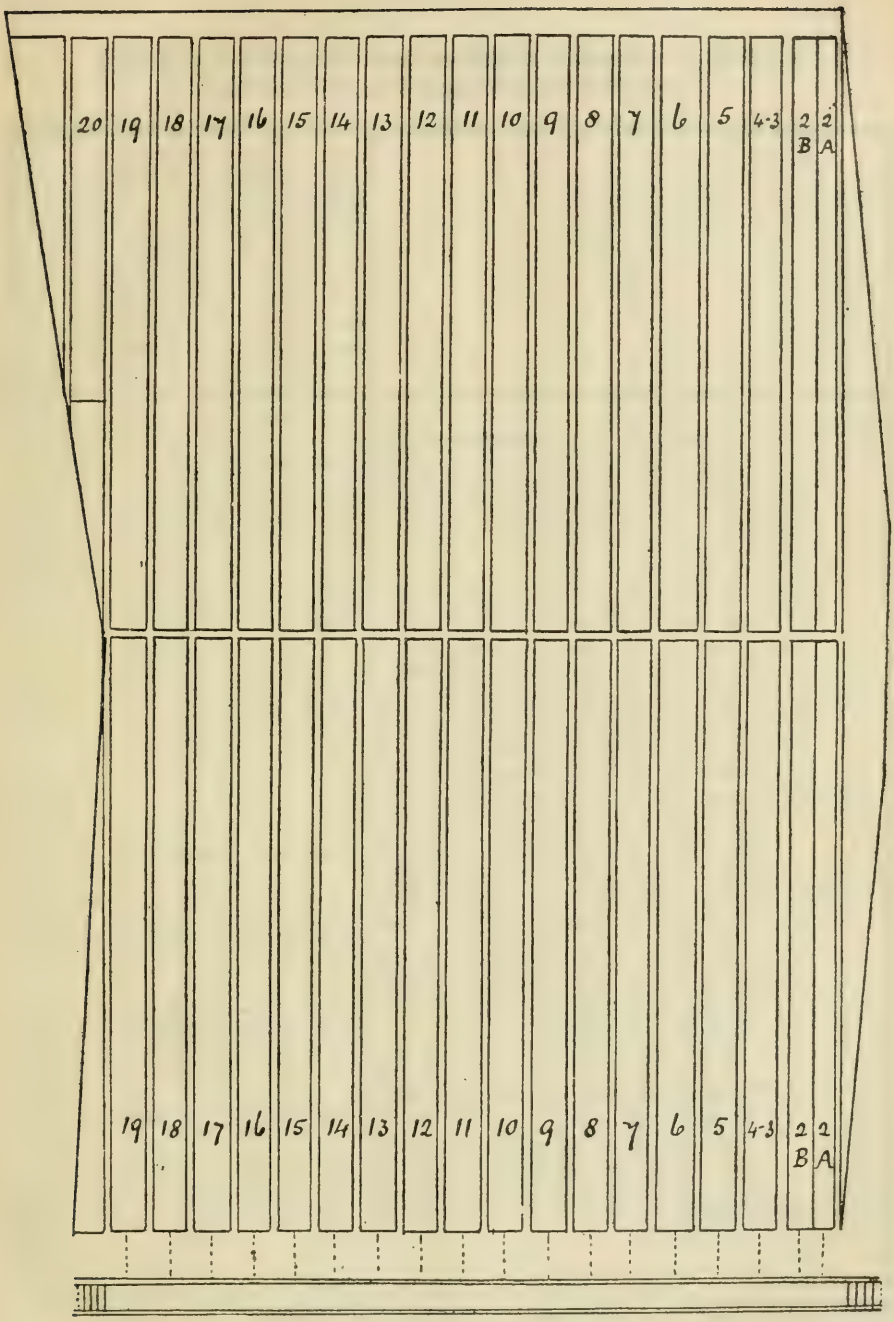


FIG. 12. — Plan parcellaire de Broadbalk field, avec coupe longitudinale du collecteur en briques des eaux de drainage.

TABLEAU I. — Broadbalk field. Expériences sur la culture du froment pendant 20 années consécutives (1852 à 1871).

NUMÉROS des parcelles.	POIDS ET COMPOSITION DES ENGRAIS A L'HECTARE ET PAR AN.	PRODUIT A L'HECTARE. Moyenne de 20 années (1852 à 1871). Grain vanné. Hectolitres.	Poids de l'hectolitre.	Paille totale.	20e saison (1871). Grain vanné. Hectolitres.	Poids de l'hectolitre.	Paille totale.
			kilogr.	kilogr.		kilogr.	kilogr.
0	Superphosphate de chaux (3 fois autant que sur les parcelles 5 et suivantes).	15,94	72,82	1 914	22,57	70,47	1 757
1	Sulfates de potasse, de soude et de magnésie (2 fois autant que sur les parcelles 5 et suivantes) . .	13,58	72,51	1 742	9,20	71,10	1 632
2	Fumier de ferme (35 000 kilogr.)	32,22	74,85	4 253	35,03	74,85	5 053
3	Sans engrais.	13,02	71,72	1 632	8,31	68,28	1 210
4	Sans engrais en 1852 et depuis 1852. (Cette parcelle avait antérieurement reçu du superphosphate et du sulfate d'ammoniaque)	14,14	72,82	1 726	9,20	71,10	1 428
5 (*a* et *b*).	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate de chaux[1]. . . .	15,27	73,45	1 914	10,66	70,47	1 601
6 (*a* et *b*).	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate de chaux et 224 kilogrammes de sels ammoniacaux	23,69	74,07	3 076	15,27	70,47	2 573
7 (*a* et *b*).	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate de chaux et 448 kilogrammes de sels ammoniacaux	31,66	73,92	4 441	19,98	70,63	3 452
8 (*a* et *b*).	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate de chaux et 672 kilogrammes de sels ammoniacaux	34,36	73,60	5 194	24,81	72,03	4 409
9 *a* . .	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate de chaux et 616 kilogrammes de nitrate de soude	33,01	72,82	5 210	30,99	73,14	5 508
9 *b* . .	616 kilogr. de nitrate de soude	23,35	70,63	3 516	15,83	65,82	2 715
10 *a* . .	448 kilogr. de sels ammoniacaux en 1845 et à partir de 1845. (Cette pièce avait reçu de l'engrais minéral en 1844)	20,21	71,25	2 715	9,09	67,03	1 397
10 *b* . .	448 kilogr. de sels ammoniacaux en 1845 et à partir de 1845 (tant en 1846 et 1850) ; engrais minéral en 1844, 1848 et 1850	23,24	72,35	3 107	8,98	67,03	1 506
11 (*a* et *b*).	448 kilogr. de sels ammoniacaux et 440 kilogr. de superphosphate	25,15	71,56	3 311	9,88	67,35	1 522

1. Le superphosphate a été fabriqué à l'aide de 224 kilogr. de cendres d'os et 168 kilogr. d'acide sulfurique pesant 1,7, sauf pour les parcelles 15 et 19 dans lesquelles on a employé l'acide chlorhydrique.

TABLEAU I. — Broadbalk field. Expériences sur la culture du froment pendant 20 années consécutives (1852 à 1871) [*Suite*].

NUMÉROS des parcelles.	POIDS ET COMPOSITION DES ENGRAIS A L'HECTARE ET PAR AN.	PRODUIT A L'HECTARE. Moyenne de 20 années (1852 à 1871). Grain vanné. Hectolitres.	Poids de l'hectolitre.	Paille totale.	20e saison (1871). Grain vanné. Hectolitres.	Poids de l'hectolitre.	Paille totale.
			kilogr.	kilogr.		kilogr.	kilogr.
12 (*a* et *b*).	448 kilogr. de sels ammoniacaux, 440 kilogr. de superphosphate et 411 kilogr. de sulfate de soude.	30,43	73,76	4 064	18,86	69,85	2 887
13 (*a* et *b*).	448 kilogr. de sels ammoniacaux, 440 kilogr. de superphosphate et 224 kilogr. de sulfate de potasse.	30,42	74,38	4 253	27,06	72,19	4 237
14 (*a* et *b*).	448 kilogr. de sels ammoniacaux, 440 kilogr. de superphosphate et 314 kilogr. de sulfate de magnésie.	30,42	73,92	4 127	21,78	70,95	3 358
15 *a* . .	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate et 448 kilogr. de sels ammoniacaux	29,53	74,38	4 080	26,27	73,60	4 033
15 *b* . .	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate, 336 kilogr. de sels ammoniacaux et 560 kilogr. de tourteaux navette.	30,51	74,54	4 253	28,74	73,29	4 268
16 (*a* et *b*).	De 1862 à 1864 (13 années), 224 kil. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kil. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate et 896 kilogr. de sels ammoniacaux .	29,08	73,60	4 535	12,12	70,95	1 726
	A partir de 1865, sans engrais (1865 à 1871), pendant 7 ans le rendement moyen a été de 17hl,29 de grain et 2 087 kilogr. paille						
17 (*a* et *b*)[1].	448 kilogr. de sels ammoniacaux	28,40[2]	74,23[2]	3 923[2]	14,37	70,31	2 010
18 (*a* et *b*)[1].	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie et 440 kilogr. de superphosphate.	15,83[3]	73,45[3]	2 024[3]	25,49	72,82	3 750
19	440 kilogr. de superphosphate de chaux, 336 kilogr. de sulfate d'ammoniaque et 500 kilogr. de tourteau de navette.	27,62	73,14	3 656	19,98	69,85	3 013
20	Sans engrais.	13,92[4]	72,35[4]	1 820[4]	9,43	69,54	1 506
21	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate et 112 kilogr. de chlorhydrate d'ammoniaque	19,20	73,29	2 448	13,70	70,78	2 103
22	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate et 112 kilogr. de sulfate d'ammoniaque	18,86	73,14	2 385	15,04	70,95	2 103

1. Les engrais des parcelles 17 et 18 sont transposés chaque année.
2. Résultats de 20 années de sels ammoniacaux s'alternant avec l'engrais minéral.
3. Résultats de 20 années d'engrais minéraux, s'alternant avec des sels ammoniacaux.
4. Moyennes de 19 années seulement, par suite d'une erreur en 1868.

TABLEAU II. — Broadbalk field. Résultats moyens de la culture du froment pour deux périodes comparatives ; vingt ans (1844-1863) et douze ans (1852-1863).

NUMÉROS des parcelles [1]	GRAIN VANNÉ. Hectolitres à l'hectare et par an		GRAIN VANNÉ. Poids moyen de l'hectolitre		GRAIN TOTAL. Poids à l'hectare et par an		PAILLE ET BALLES. Poids à l'hectare et par an		PRODUIT TOTAL. Grain et paille, poids à l'hectare et par an	
	pour 20 ans (1844-1863)	pour 12 ans (1852-1863)	pour 20 ans (1844-1863)	pour 12 ans (1852-1863)	pour 20 ans (1844-1863)	pour 12 ans (1852-1863)	pour 20 ans (1844-1863)	pour 12 ans (1852-1863)	pour 20 ans (1844-1863)	pour 12 ans (1852-1863)
			kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
0	18,30	16,39	72,85	71,73	1 432	1 281	2 324	2 069	3 776	3 350
1	16,39	14,71	72,48	71,35	1 310	1 149	2 202	1 980	3 512	3 129
2	29,13	31,77	74,85	73,98	2 327	2 502	3 940	4 336	6 627	6 838
3	14,59	13,92	72,23	70,48	1 150	1 080	1 897	1 863	3 047	2 943
4	18,47	15,21	73,23	71,35	1 487	1 201	2 382	1 941	3 869	3 142
5 *a*	19,87	15,39	73,73	72,23	1 594	1 284	2 628	2 080	4 222	3 364
5 *b*	20,88	16,67	73,60	72,10	1 675	1 310	2 803	2 172	4 478	3 482
6 *a*	24,61	25,09	74,35	73,10	1 971	1 958	3 261	3 314	5 232	5 272
6 *b*	25,49	25,82	74,23	73,23	2 034	2 013	3 412	3 438	5 446	5 451
7 *a*	29,92	32,56	74,23	72,10	2 377	2 542	4 232	4 693	6 609	7 235
7 *b*	30,31	32,81	74,10	72,73	2 412	2 559	4 293	4 748	6 705	7 307
8 *a*	29,19	34,07	73,48	72,10	2 313	2 664	4 329	5 275	6 642	7 939
8 *b*	27,98	34,19	73,73	72,10	2 382	2 674	4 457	5 296	6 839	7 970
9 *a*	28,12	30,99	72,85	71,23	2 331	2 422	4 191	4 961	6 422	7 383
9 *b*	23,46	23,18	71,98	69,10	1 872	1 816	3 360	3 572	5 232	5 368
10 *a*	21,55	20,32	72,10	69,73	1 734	1 608	2 977	2 918	4 711	4 526
10 *b*	23,24	24,19	73,10	71,10	1 855	1 897	3 212	3 431	5 067	5 328
11 *a*	26,10	26,27	72,73	70,35	2 085	2 055	3 502	3 565	5 587	5 620
11 *b*	26,33	27,00	72,73	70,60	2 102	2 113	3 560	3 682	5 662	5 795
12 *a*	29,13	31,60	74,10	72,60	2 313	2 459	4 054	4 407	6 367	6 866
12 *b*	29,13	31,60	74,23	72,73	2 314	2 473	4 043	4 441	6 357	6 914
13 *a*	28,46	30,82	74,35	73,10	2 277	2 427	4 015	4 422	6 292	6 849
13 *b*	28,69	31,32	74,48	73,10	2 296	2 469	4 071	4 521	6 367	6 990
14 *a*	28,63	31,23	74,35	72,73	2 289	2 456	4 045	4 467	6 334	6 923
14 *b*	28,69	31,60	74,35	72,85	2 290	2 471	4 052	4 505	6 342	6 976
15 *a*	27,84	29,81	74,48	73,10	2 229	2 340	3 922	4 254	6 151	6 594
15 *b*	28,91	31,32	74,48	73,23	2 301	2 450	4 112	4 515	6 413	6 965
16 *a*	31,49	34,58	73,85	71,85	2 509	2 712	4 978	5 776	7 487	8 488
16 *b*	32,11	34,58	73,73	71,85	2 560	2 725	5 056	5 774	7 616	8 499
17 *a*	24,59	16,90	74,23	72,35	1 974	1 323	3 430	2 225	5 404	3 548
17 *b*	24,08		74,10		1 932		3 360		5 292	
18 *a*	24,81	29,30	74,48	73,23	1 988	2 302	3 435	4 209	5 423	6 511
18 *b*	24,42		74,35		1 963		3 470		5 433	
19	27,79	28,46	73,85	72,48	2 224	2 259	3 829	3 946	6 053	6 205
20	14,59	14,03	71,98	71,10	1 158	1 108	2 025	1 921	3 183	3 029
21	19,59	19,91	72,60	72,23	1 539	1 551	2 576	2 626	4 115	4 177
22	19,20	19,48	72,48	72,10	1 493	1 504	2 540	2 587	4 033	4 091

1. Les parcelles correspondent, pour la nature et le poids des engrais à l'hectare, à celles du tableau précédent (tableau 1).

tion des divers engrais, et quel est le degré d'épuisement du sol qu'amène la fumure partielle. On ne peut évidemment le traiter d'une manière suffisante qu'après avoir enregistré exactement les rendements de chaque année et la composition, aussi bien que la quantité, des engrais employés. En s'attachant d'une façon plus spéciale à la fumure azotée et à la fumure minérale, les savants de Rothamsted sont arrivés aux conclusions suivantes sur ce point spécial et délicat de l'épuisement dans la culture du blé.

Une terre à blé, consistante, de qualité moyenne, prise à la fin d'une rotation de cinq ans, sans qu'elle eût reçu aucun engrais depuis cinq ans, a donné un rendement en froment à peine supérieur, pour avoir reçu comme fumure un mélange de silicate, de potasse et de superphosphate de chaux ; tandis qu'elle a donné un rendement très notablement accru, bien que diminuant progressivement, pour n'avoir reçu que des sels ammoniacaux pendant dix-neuf années de suite.

Il est évident que, bien qu'épuisé au point de vue pratique, le sol renfermait au début un excès de matières minérales disponibles, par rapport à l'azote fourni annuellement par le sol et par l'air. Toutefois, en présence de grosses fumures de sels ammoniacaux, les matières minérales ont été en déficit dès la quatrième année.

Par l'application des sels ammoniacaux, la plus grande partie de l'azote ne s'est pas retrouvé dans l'excédent de produit de la récolte à laquelle il avait été destiné ; le résidu dans le sol n'a été assimilé que partiellement, très lentement, même en présence de nouveaux engrais minéraux.

Les substances minérales à l'état soluble, en mélange avec des sels ammoniacaux, qui persistent dans leur efficacité, peuvent être appliquées à un sol ayant reçu antérieurement un excès de sels, quand elles ne sont pas en mélange, sans accroître sensiblement le rendement.

Enfin, le résidu des fumures minérales antérieures, bien qu'il serve de réserve contre l'épuisement du sol, a peu ou point d'action sur l'augmentation de rendement du froment, tant que l'azote n'a pas été fourni dans l'engrais. D'autre part, le résidu de fumures azotées dans le sol exerce peu d'influence sur les récoltes suivantes, lors même qu'on lui applique des engrais minéraux.

Résultats de douze années (1852-1863). — Les résultats moyens des principaux engrais, pendant les douze années (1852-1863), sont à considérer par rapport à la parcelle restée sans engrais. C'est, en effet, à partir de 1852 que les mêmes engrais et les mêmes mélanges ont été appliqués d'une façon invariable aux parcelles, à l'exception de cinq ou six. Les explications se réfèrent au tableau II précédent, et au tableau III suivant, qui indique spécialement l'augmentation de rendement pour le grain vanné, le grain total, la paille, et le produit total par rapport à la parcelle sans engrais (n° 3) et à la parcelle avec engrais minéraux seuls (n° 5 *a* et *b*).

Parcelles sans engrais (n°s 3, 4 et 20). — Le rendement moyen à l'hectare et par an, sur un même sol resté sans engrais depuis plus de vingt années, s'est élevé (parcelle n° 3) à 13^{hl},92 de grain vanné, pour la période de douze ans (1852-1863). La première année, il était de 13^{hl},46, et, en 1863, de 15^{hl},25. Il ne s'est produit aucune diminution notable pendant les dernières années. Si le rapport du grain à la paille, sur cette parcelle, a été aussi élevé qu'en recourant au fumier, et plus élevé que sur la plupart de celles où l'on a employé des engrais commerciaux, il faut reconnaître que le poids de l'hectolitre de grain vanné, obtenu sur cette parcelle, a été beaucoup moindre.

Parcelle avec fumier (n° 2). — Le fumier, appliqué chaque année en dose telle que le sol reçoive plus d'éléments qu'il ne peut en perdre, a porté le rendement moyen par hectare et par an à 31^{hl},77 de grain vanné. Il avait été la première année de 18^{hl},39, et la dernière année, de 35^{hl},97. Le fumier a donc élevé le rendement de près de 18 hectolitres et fourni le grain le plus lourd à l'hectolitre. Il faut remarquer toutefois que le rapport du grain à la paille se maintient égal à celui constaté sur les parcelles sans engrais. Le rendement annuel, après s'être élevé beaucoup plus dans la seconde moitié de la période que dans la première, a fini par croître très lentement.

D'après cela, il resterait à examiner les deux questions suivantes : 1° Quels sont les éléments qui manquent au sol dépourvu d'engrais ? 2° A quels éléments fournis par le fumier doit-on attribuer l'augmentation de rendement ?

TABLEAU III. — Broadbalk field. Résultats comparés des divers engrais dans la culture du froment pendant 12 années (1852-1863).

Numéros des parcelles.	Engrais a l'hectare et par an (12 années, 1852-1863).	Rendement. Grain vanné.	Rendement. Grain total.	Rendement. Paille et balles.	Rendement. Total. Grain et paille.	Rendement. Grain pour 100 de paille.	Augmentation. Grain vanné. sur parcelle sans engrais (n° 3).	Augmentation. Grain vanné. sur parcelle engrais minéraux (5 a et b).	Augmentation. Grain total. sur parcelle sans engrais (n° 3).	Augmentation. Grain total. sur parcelle engrais minéraux (5 a et b).	Augmentation. Paille et balles. sur parcelle sans engrais (n° 3).	Augmentation. Paille et balles. sur parcelle engrais minéraux (5 a et b).	Augmentation. Produit total sur parcelle sans engrais (n° 3).	Augmentation. Produit total sur parcelle engrais minéraux (5 a et b).
		hectol.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	p. 100.								
2. . . .	35 000 kilogr. fumier de ferme, chaque année (20 ans, 1844-1863)	31,77	2 502	4 336	6 838	57.9	17,85	»	1 422	»	2 473	»	3 895	»
3. . . .	Sans engrais (20 ans, 1844-1863)	13,92	1 080	1 863	2 943	57.8	»	»	»	»	»	»	»	»
20. . . .	Sans engrais (17 ans, 1847-1863)	14,03	1 108	1 921	3 029	57.9	0,11	»	28	»	58	»	86	»
4. . . .	Sans engrais (12 ans, précédés de superphosphate et de sels ammoniacaux)	15,21	1 201	1 941	3 142	61.6	1,29	»	121	»	78	»	199	»
0. . . .	Superphosphate de chaux (16 ans, 1818-1863)	16,39	1 281	2 069	3 350	61.9	2,47	»	201	»	206	»	407	»
1. . . .	Sulfates de potasse, de soude et de magnésie (15 ans, 1849-1863)	14,71	1 149	1 980	3 129	58.0	0,79	»	69	»	117	»	186	»
5 *a* et *b*.	Mélange d'engrais minéraux (tableau I)	16,53	1 297	2 126	3 423	62.0	2,61	»	217	»	263	»	480	»
21. . . .	112 kilogr, chlorhydrate d'ammoniaque et mélange engrais minéraux	19,91	1 551	2 626	4 177	59.7	5,99	3,38	471	254	763	500	1 234	754
22. . . .	112 kil. sulfate d'ammoniaque et mélange engrais minéraux.	19,48	1 504	2 587	4 091	59.0	5,56	2,95	424	207	724	461	1 148	668
6 *a* et *b*.	224 kilogr. sels ammoniacaux et mélange engrais minéraux.	25,45	1 985	3 376	5 361	59.0	11,53	8,92	905	688	1 513	1 250	2 418	1 938
7 *a* et *b*.	448 — — — —	32,70	2 550	4 720	7 271	51.1	18,78	16,17	1 470	1 253	2 857	2 594	4 328	3 848
8 *a* et *b*.	672 — — — —	34,13	2 669	5 285	7 954	50.4	20,21	17,60	1 589	1 372	3 422	3 159	5 011	4 531
16 *a* et *b*.	896 — — — —	34,35	2 718	5 775	9 493	47.3	20,43	17,82	1 638	1 421	3 912	3 649	5 550	5 070
17 *a* et *b*.	Engrais minéraux (mélange) s'alternant avec 448 kilogr. sels	16,90	1 323	2 225	3 548	59.7	2,98	0,37	243	26	362	99	605	125
ou 18 *a* et *b*.	ammoniacaux	29,30	2 302	4 209	6 511	55.0	15,38	12,77	1 222	1 005	2 346	2 083	3 568	3 038
10 *a* . . .	448 kilogr. sels ammoniacaux seuls (19 ans, 1845-1863)	20,32	1 608	2 918	4 526	51.0	6,40	3,79	528	311	1 055	792	1 583	1 103
10 *b* . . .	448 — — (13 ans, 1851-1863)	24,19	1 897	3 431	5 328	51.6	10,27	7,66	817	600	1 568	1 305	2 385	1 905
11 *a* et *b*.	448 — — et superphosphate	26,63	2 084	3 623	5 702	57.1	12,71	10,10	1 004	787	1 760	1 497	2 764	2 284
12 *a* et *b*.	448 — — superphosphate et sulfate soude	31,60	2 466	4 424	6 890	55.7	17,68	15,07	1 386	1 169	2 561	2 298	3 947	3 467
13 *a* et b.	448 kilogr. sels ammoniacaux seuls, superphosphate et sulfate potasse	31,07	2 484	4 471	6 919	54.9	17,15	14,51	1 408	1 191	2 568	2 345	3 976	3 496
14 *a* et *b*.	448 kilogr. sels ammoniacaux seuls, superphosphate et sulfate magnésie	31,41	2 463	4 486	6 949	54.9	17,49	11,88	1 383	1 166	2 623	2 360	4 006	3 526
9 *a* . . .	616 kilogr. nitrate de soude et mélange engrais minéraux	30,99	2 422	4 961	7 383	48.5	17,07	14,46	1 342	1 125	3 098	2 835	4 440	3 960
9 *b* . . .	616 kilogr. nitrate de soude seul	23,18	1 816	3 572	5 388	49.8	9,26	6,65	730	519	1 709	1 446	2 445	1 965
15 *a* . . .	448 kil. sels ammoniacaux; mélange alcalis et superphosphate.	29,81	2 340	4 254	6 594	54.9	15,89	13,28	1 260	1 043	2 391	2 128	3 651	3 171
15 *b* . . .	336 kilogr. sels ammoniacaux; mélange alcalis et tourteaux.	31,32	2 450	4 515	6 965	61.4	17,40	14,79	1 570	1 153	2 652	2 389	4 022	3 542
19. . . .	336 kilogr. sels ammoniacaux; 440 kilogr. superphosphate et 560 kilogr. tourteau	28,46	2 259	3 946	6 205	57.2	14,54	11,93	1 179	962	2 083	1 820	3 262	2 782

Sels minéraux sans silice (parcelles n°s 0, 1 et 5). — Un mélange d'engrais minéraux ; sulfate de potasse, de soude, de magnésie et de superphosphate, renfermant plus de bases et plus d'acide sulfurique que les récoltes n'en enlèvent au sol (5 *a* et *b*), n'a donné que 2^{hl},61 de plus à l'hectare, relativement au sol sans engrais, et 15^{hl},24 de moins que la parcelle avec le fumier. Le rapport du grain à la paille s'est élevé, il est vrai ; mais le poids de l'hectolitre est moindre que celui provenant du fumier. Les engrais minéraux employés seuls ne permettent pas à la plante d'assimiler plus de carbone et d'azote atmosphérique que sur le sol épuisé et laissé sans engrais.

Sels ammoniacaux seuls (parcelle 10 *a*). — Les sels ammoniacaux seuls, à la dose de 224 kilogr. de sulfate et 224 kilogr. de chlorhydrate, soit 448 kilogr. à l'hectare, après avoir rétabli dans le sol la potasse enlevée par les trois premières récoltes et l'acide phosphorique soustrait par les cinq premières récoltes, ont donné une augmentation de rendement considérable tout d'abord, mais qui a été sans cesse en décroissant.

Par rapport à la parcelle sans engrais, l'augmentation, après avoir atteint plus de 8 hectolitres dans les neuf premières années, s'est réduite à un peu plus de 6 hectolitres (6^{hl},40). Le rendement moyen des douze années (1852-1863) pour la parcelle 10 *a*, a été de 20^{hl},32.

Comme les sels ammoniacaux ont accru le rendement bien plus que les engrais minéraux seuls, et cela pendant nombre d'années, il s'ensuit que si le sol pratiquement épuisé manquait d'azote, il renfermait du moins un excédent d'éléments minéraux, par rapport à la quantité d'azote disponible dans le sol et dans l'atmosphère. Les faits démontrent, d'ailleurs, que les plantes dont la croissance se fait en présence d'une abondante provision d'éléments minéraux, fixent à peine plus d'azote provenant des sources naturelles, que sur un sol resté sans engrais.

Sels minéraux et ammoniacaux. — En ajoutant au mélange d'engrais minéraux celui des sels ammoniacaux, dont on vient de constater les effets, on a obtenu (7 *a* et *b*), par rapport à la parcelle sans engrais, un accroissement moyen annuel de 18^{hl},78 de grain et de 2,857 kilogr. de paille, ou 93 litres de grain et 384 kilogr. de paille

de plus, que sur la parcelle avec fumier. En forçant la dose de sels ammoniacaux, on obtient donc des rendements plus élevés, mais qui dépendent de l'addition d'ammoniaque.

D'ailleurs, la moyenne de vingt années, résultant du mélange de sels ammoniacaux et minéraux (parcelle 7 *a* et *b*), atteint $30^{hl},12$; c'est-à-dire qu'elle excède de beaucoup la moyenne obtenue dans la culture par assolement de la Grande-Bretagne, et dépasse le rendement obtenu à l'aide du fumier appliqué pendant vingt années de suite, à raison de 35 000 kilogr. à l'hectare. Sans apport de silice ou de matières organiques fournissant de l'acide carbonique et des produits carbonés, ce mélange couvre et au delà la perte annuelle subie, tant en matières minérales, y compris la silice, qu'en azote et en carbone contenus dans les récoltes.

Sels minéraux et nitrate de soude (parcelles 10 *a* et *b*). — Le même mélange d'engrais minéral avec une quantité de nitrate de soude représentant l'équivalent de l'azote des sels ammoniacaux employés, fournit un rendement en grain à peu près égal à celui du fumier, mais plus de paille.

Engrais organiques. — Il n'est résulté aucun avantage de l'emploi d'engrais organiques seuls, susceptibles de fournir, par leur décomposition, de l'acide carbonique ou des produits carbonés. Quoique une récolte de blé renferme plus de 2 000 kilogr. de carbone par hectare, le grain semble se passer du carbone de l'engrais. Grâce à l'atmosphère, cette énorme quantité de carbone est soutirée par les racines, ou par les feuilles, pourvu toutefois que les éléments minéraux et l'azote à l'état assimilable approvisionnent suffisamment le sol.

Le froment jouit de cette faculté, comme l'orge et les plantes prairiales. Les racines, au contraire, dépendent, pour leur développement, de la décomposition des matières organiques dans le sol.

Si la matière organique du fumier a exercé une action quelconque, il semble qu'elle ait été superflue. L'accroissement de produit dû au fumier est surtout attribuable à l'ammoniaque qui se dégage en abondance, mais lentement, ou bien à l'azote sous un autre état, de même qu'aux éléments minéraux.

Augmentation de rendement par l'azote. — Il a été démontré, sur le champ de Broadbalk, qu'on ne peut obtenir de pleines récoltes de froment que s'il y a dans le sol, à la disposition de la plante, des éléments minéraux assimilables en abondance, et si, en même temps, l'ammoniaque, ou l'azote à tout autre état, est fourni au sol. Aussi était-il intéressant de déterminer l'augmentation de rendement correspondant à un poids donné d'ammoniaque, ou d'azote à tout autre état, contenu dans l'engrais. C'est ce que MM. Lawes et Gilbert ont établi, en se basant sur les résultats des années 1852 à 1863. Ils ont calculé le poids d'ammoniaque dans l'engrais et le poids d'azote du nitrate converti en ammoniaque, qui est nécessaire pour accroître de 1 hectolitre la quantité de grain, avec la paille correspondante, sur chacune des parcelles principales de *Broadbalk field*.

Les calculs du tableau (n° IV) se réfèrent comme terme de comparaison, non point à la parcelle sans engrais, puisque l'action de l'ammoniaque dépend de la préexistence d'éléments minéraux assimilables, mais bien à la parcelle contenant le mélange normal adopté de sels minéraux ; le poids de l'hectolitre ayant été fixé pareillement à $74^{kg},85$.

D'après ce tableau, on remarquera que par l'emploi de 56 kilogr. d'ammoniaque à l'hectare et par an, ajouté à l'engrais minéral complet (qui ne comprend pas de silice) dans la parcelle type n° 6, on a dû employer $4^{kg},988$ d'ammoniaque pour produire $27^{kg},205$ d'excédent de blé, avec la paille correspondante. Or, ce poids d'ammoniaque équivaut à la fumure généralement pratiquée en Angleterre, c'est-à-dire à environ 100 kilogr. de sulfate d'ammoniaque commercial, ou à 89 kilogr. de chlorhydrate, ou encore à 140 kilogr. de guano du Pérou, et à 114 kilogr. de nitrate de soude, à l'hectare.

Ainsi, le fermier peut pratiquement compter qu'il obtiendra en moyenne un hectolitre de blé avec son *quantum* de paille, en excédent du produit ordinaire dû au sol et à la saison, moyennant 5 kilogrammes d'ammoniaque appliquée comme engrais.

En doublant à l'hectare la fumure de sels ammoniacaux, ce qui constitue une fumure trop considérable pour la plupart des sols et des années, la quantité employée, pour 1 hectolitre d'excédent, atteint

5kg,512; en la triplant, elle devient 7kg,544, et en quadruplant, 9kg,720. Quand on a recours à un excès d'ammoniaque, il faut donc en ajouter beaucoup plus, pour produire un excédent de produit déterminé, que lorsqu'on a recours à des quantités moyennes.

TABLEAU IV. — Quantité d'ammoniaque dans l'engrais nécessaire pour produire un hectolitre de froment en excédent, avec sa paille.

NUMÉROS des parcelles.	ENGRAIS PAR HECTARE ET PAR AN pendant douze années (1852-1863).	MOYENNES Six années 1re moitié (1852-1857)	Six années 2e moitié (1858-1863)	Douze années (1852-1863)
		kilogr.	kilogr.	kilogr.
6 (*a* et *b*)	224 kilogr. sels ammoniacaux[1] et mélange d'engrais minéraux[2]	5 737	4 475	4 988
7 (*a* et *b*)	448 kilogr. sels ammoniacaux et mélange d'engrais minéraux.	6 015	5 081	5 512
8 (*a* et *b*)	672 kilogr. sels ammoniacaux et mélange d'engrais minéraux.	8 216	6 980	7 544
16 (*a* et *b*)	896 kilogr. sels ammoniacaux et mélange d'engrais minéraux.	10 244	9 238	9 720
17 (*a* et *b*) ou 18 (*a* et *b*)	448 kilogr. sels ammoniacaux s'alternant avec mélange d'engrais minéraux . . .	7 103	6 641	6 894
10 *a*	448 kilogr. sels ammoniacaux seuls (19 années, 1845-1863)	21 063	23 342	22 141
10 *b*	448 kilogr. sels ammoniacaux seuls (13 années, 1851-1863)	10 664	12 481	11 496
11 (*a* et *b*)	448 kilogr. sels ammoniacaux et superphosphate de chaux[3].	9 155	8 488	8 796
12 (*a* et *b*)	448 kilogr. sels ammoniacaux, superphosphate de chaux et sulfate de soude . .	6 556	5 378	5 912
13 (*a* et *b*)	448 kilogr. sels ammoniacaux, superphosphate de chaux et sulfate de potasse . .	6 754	5 427	6 004
14 (*a* et *b*)	448 kilogr. sels ammoniacaux, superphosphate de chaux et sulfate de magnésie.	6 477	5 450	5 922
9 *a*	616 kilogr. nitrate de soude et engrais minéraux.	6 792	4 855	5 553
9 *b*	616 kilogr. nitrate de soude seul	11 588	15 064	13 138

1. Moitié sulfate et moitié chlorhydrate d'ammoniaque.
2. Superphosphate de chaux et sulfate de potasse, de soude et de magnésie.
3. 4 parties cendres d'os et 3 parties acide sulfurique pesant 1.7.

Les résultats deviennent bien moins favorables encore, par l'emploi de 448 kilogr. de sels ammoniacaux (correspondant à 112 kilogr. d'ammoniaque) à l'hectare, lorsque les éléments minéraux font défaut. Ainsi, sur les parcelles 17 et 18, qui ont reçu tous les deux ans cette dose, et, dans l'année intercalaire, le mélange d'engrais minéraux, il a fallu $6^{kg},894$ d'ammoniaque pour produire un excédent de 1 hectolitre de grain avec sa paille. Sur les parcelles n° 11 qui manquaient depuis vingt années de potasse, de soude et de magnésie (sauf les faibles quantités fournies au sol par le tourteau de navette), il a fallu $8^{kg},796$ d'ammoniaque. Enfin, sur la parcelle 10 *a* où le manque d'éléments minéraux était encore plus accusé, la quantité normale d'ammoniaque nécessaire a été quadruple, soit de $22^{kg},141$ par hectolitre d'excédent.

Avec l'azote fourni à l'état de nitrate de soude, correspondant à 112 kilogr. d'ammoniaque à l'hectare, les résultats sont identiques.

En admettant que le fumier renferme une proportion moyenne d'azote, la quantité d'azote dépensée pour produire une augmentation de rendement, correspond à une dose d'ammoniaque beaucoup plus forte que celle effectivement employée en recourant à des sels ammoniacaux (56 kilogr.), ou à du nitrate de soude (112 kilogr.), conjointement avec le mélange des sels minéraux.

Il y a donc une différence très notable, pour l'augmentation de produit, dans l'action de l'azote à l'état de sels ammoniacaux ou de nitrate, suivant la proportion de substances minérales disponibles dans le sol. Le cultivateur qui, en présence d'un sol déjà épuisé en matières minérales, cherche à accroître sa récolte exclusivement par des engrais azotés, non seulement réduit davantage encore ces matières, mais paye d'une manière exorbitante l'excédent qu'il obtient.

D'ailleurs, les saisons influent beaucoup, comme on le verra plus tard, sur l'action d'une quantité donnée d'ammoniaque dans l'engrais.

En somme, quelque grande que soit la différence d'action de l'ammoniaque apportée dans le sol par l'engrais, sous le rapport du poids distribué à l'hectare, de l'état minéral du sol, et des saisons,

si on se place dans les conditions de la pratique ordinaire, c'est-à-dire d'une fumure modérée et d'un sol suffisamment pourvu d'éléments minéraux, il se confirme que 5 kilogr. d'ammoniaque correspondent à la production d'un excédent de 1 hectolitre de grain avec sa paille.

Les conséquences des essais de culture prolongée du froment, dans le champ de Broadbalk, se résument ainsi :

1° Sur une terre à froment de moyenne qualité, prise à l'expiration d'une rotation, après cinq récoltes successives sans engrais, on est parvenu à cultiver du froment pendant trente années consécutives, sans engrais, et avec diverses sortes d'engrais ;

2° Sans engrais, le rendement en grain vanné a été, la première année, de $13^{hl},47$ à l'hectare, la dernière année de $15^{hl},49$, et, en moyenne, pendant vingt ans, de $14^{hl},59$;

3° Avec le fumier de ferme, appliqué chaque année, à raison de 35 000 kilogr. à l'hectare, le rendement a été, la première année, de $18^{hl},41$; la dernière année de $39^{hl},52$, et, en moyenne, pendant vingt ans, de $29^{hl},19$;

4° Avec les engrais commerciaux, le rendement le plus élevé a été, la première année, de $21^{hl},78$; la dernière année, de $50^{hl},75$, et en moyenne, pendant vingt ans, de $31^{hl},11$; c'est-à-dire de beaucoup supérieur au rendement obtenu dans la rotation ordinaire, et à celui obtenu dans le même sol, par l'application continue du fumier ;

5° Les engrais minéraux employés exclusivement, bien qu'à l'état soluble, ont faiblement augmenté le produit ; ils ne permettent pas à la plante d'assimiler plus d'azote et de carbone de l'atmosphère que lorsqu'elle est cultivée sur un sol pratiquement épuisé ;

6° Les engrais azotés, employés exclusivement, ont augmenté le produit très notablement pendant nombre d'années de suite ; ce qui prouve que le sol à l'état d'épuisement relatif où on l'avait pris, était bien plus riche en matières minérales qu'en azote disponible, pour la végétation du froment ;

7° Les plus fortes récoltes correspondent à l'emploi simultané d'engrais minéraux et azotés ; et c'est grâce à ce mélange, indépendant de silice ou de carbone, que le rendement du fumier a été notablement dépassé.

Période totale (1843-1899).

Depuis 1852, quand les parcelles de Broadbalk furent soumises à un plan méthodique de fumure, jusqu'à ce jour, les essais embrassent quarante-huit années ; mais depuis l'origine en 1843-1844, la période totale jusqu'en 1900 s'étend sur cinquante-six années.

En 1884, MM. Lawes et Gilbert publièrent un mémoire, non moins important que le premier, déjà signalé, sur la culture expérimentale du froment pendant une seconde période de vingt années [1] ; et en 1895, dans leur résumé général des recherches poursuivies pendant le demi-siècle écoulé [2], ils ont consacré un chapitre à l'analyse des résultats de cette remarquable et unique expérience sur le froment.

Avant de grouper, à notre tour, les données relatives aux principales parcelles du champ de Broadbalk, nous noterons quelques modifications apportées à certaines d'entre elles, les conditions dans lesquelles se sont faites les prises d'échantillons de produits et de sol, pour y doser l'azote et les éléments minéraux qui ont servi à la comparaison des résultats.

Parcelles et produits des récoltes. — Les parcelles du champ de Broadbalk qui étaient jusqu'en 1892 au nombre de 23, numérotées de 0 à 22, ont été réduites à 19, parmi lesquelles les n°s 2, 9 et 10 comprennent encore deux divisions *a* et *b*. Les anciens numéros 0 et 1, 21 et 22 ont été supprimés.

Les échantillons prélevés, tant de grain que de paille, sont au nombre de 19 + 3 = 22 par année. Un poids déterminé de chaque échantillon est desséché : le grain est conservé dans des flacons, et la paille débitée au hache-paille est mise en paquets pour être également conservée dans les collections. Des duplicata de chacun des

---

1. *Report of experiments on the growth of wheat for the second period of twenty years in succession of the same land* (*Journ. R. Agric. Soc. Engl.*), XX, 2e série, 1884.

2. *The Rothamsted experiments over a period of fifty years* (*Trans. Highl. and Agric. Soc. of Scotland*), VII, 5e série, 1895.

échantillons sont desséchés au bain-marie, puis incinérés, étiquetés et conservés en vases clos.

L'azote n'est pas dosé immédiatement, mais au fur et à mesure des besoins que les recherches nécessitent. C'est ainsi que, dans les vingt premières années, en vue d'un certain choix de parcelles, l'azote a été dosé dans le grain et la paille de chacun des échantillons annuels. Il a été dosé de même dans le grain et la paille des quatre années extrêmes de la période, et ainsi de suite.

Les cendres des échantillons préparés en duplicata sont mélangées, en vue de l'analyse minérale, lorsque les résultats sont discordants, et l'on procède à l'incinération de nouvelles quantités du grain et de la paille mis en réserve.

Sur les cendres de grain et de paille, classées chaque année, on a complètement analysé, jusqu'en 1891, 253 échantillons. Les résultats de ces analyses ont été publiés pour servir de base à la discussion, dans un mémoire spécial présenté à la Société chimique [1].

Le but proposé, quant au dosage de l'azote et à la composition des cendres et du produit des récoltes sur certaines parcelles, a été l'étude de l'action qu'exercent les divers engrais et les saisons sur le développement et la teneur du grain et de la paille pendant la longue période des expériences culturales. Les dosages d'azote ont continué jusqu'en 1881, tandis que les analyses de cendres ont été exécutées jusqu'en 1871.

Sol. — L'échantillonnage du sol des parcelles qui eût permis, dès le début des essais, d'éclairer des points très importants, tels que la source de l'azote de la récolte dépendant du sol, ne fut pratiqué en 1846 que sur un petit nombre de parcelles, à des profondeurs indéterminées.

En 1856 on préleva en double des échantillons de la couche superficielle, sur des surfaces et à des profondeurs fixées, mais dans quatre parcelles seulement. Les huit échantillons de chacune de ces parcelles furent mélangés, pour le dosage de l'azote et du carbone.

---

1. *On the composition of the ash of Wheat-grain and Wheat straw, grown at Rothamsted* (*Journ. Chem. Soc.*, August 1884).

En 1865, 11 parcelles furent soumises à échantillonnage, à trois profondeurs différentes jusqu'à $0^m,23$, sur huit points différents. Le mélange des échantillons obtenus à chacune des profondeurs dans les 11 parcelles, a servi à doser l'azote, parfois à l'état d'acide nitrique, et le carbone.

Au mois de juillet 1868, pendant la sécheresse, et au mois de janvier 1869, pendant l'époque de saturation du sol, des échantillons furent prélevés sur 3 parcelles choisies, à 12 profondeurs successives de $0^m,076$, soit à une profondeur totale de $0^m,91$, dans le but de déterminer la différence d'humidité des couches (sol et sous-sol) dans les parcelles comparées, et en même temps l'azote et le carbone.

En 1883, le sol de chacune des 20 parcelles fut échantillonné sur six points différents, et à trois profondeurs de $0^m,228$ chacune, soit à une profondeur totale de $0^m,68$. Dans chaque échantillon mélangé, représentant le sol à chacune des profondeurs, on a dosé l'azote total, l'azote nitrique, le carbone, et, dans certains cas, le chlore.

L'irrégularité naturelle qu'offrent les sous-sols des parcelles, n'a pas permis, d'après les nombreux dosages de l'azote total qu'ils renferment, indépendamment des dosages d'acide nitrique, de chlore, etc., de préciser leur degré de déperdition ou d'acquisition quant à l'azote, non seulement pour établir un rapport utile entre les parcelles, mais encore pour une même parcelle considérée à diverses époques. C'est seulement en continuant les investigations, quant à la nitrification ou à l'action d'autres organismes, aux dissolvants tels que les acides organiques, afin de déterminer le caractère et la composition des matières dissoutes, ou quant au rapport entre le carbone et l'azote, qu'il deviendra possible d'affirmer dans quelle mesure le sol d'une des parcelles, à différentes périodes de culture, ou bien le sol de parcelles soumises à différentes fumures, comparées entre elles, a perdu ou gagné d'azote organique [1].

Rendements de la période totale. — Les rendements de la période de cinquante-quatre années (1843-1897) sont répartis en deux tableaux V et VI.

---

1. *History and present position of the Rothamsted investigations*, 1891.

Le premier de ces tableaux présente les produits à l'hectare, en grain vanné (hectolitres), en paille et balles (kilogrammes) et le poids de l'hectolitre de grain, groupés suivant deux périodes successives de vingt années et une période totale de quarante années (1852-1891), en regard de ceux plus récemment publiés des récoltes de 1896, la 53e, et de 1897, la 54e.

Sauf pour les parcelles nos 0, 11, 21 et 22, dont les moyennes se réfèrent à deux périodes de seize années chacune, soit à une période totale de trente-deux années (1852-1853), les autres moyennes se rapportent à quarante années de culture consécutive.

Le second tableau reproduit les rendements obtenus dans la période préliminaire de huit années (1844-1858), sur un certain nombre de parcelles-types, destinées à l'interprétation des moyennes relevées pendant les quarante années suivantes (tableau VI). Le choix de ces parcelles a été déterminé par l'absence de modifications dans le mode de fumure; ce sont les parcelles : n° 2, fumier de ferme; n° 3, sans engrais; nos 10 *a* et 10 *b*, engrais minéral additionné de sels ammoniacaux, et engrais ammoniacal seul.

Pour l'explication de ces deux tableaux, les parcelles-types seront examinées ci-après, par rapport à l'action des matières fertilisantes employées.

Parcelle sans engrais. — Le rendement moyen en grain de la parcelle 3 sans engrais a été, pour les huit premières années, de 15hl,60; de 13hl,02 pour les vingt années suivantes et de 10hl,55 pour les vingt dernières années jusqu'en 1891.

Pendant ces quarante-huit années, le produit le plus élevé a été de 28hl,74, obtenu en 1845, et le plus bas, de 4hl,26 en 1879.

Il n'est pas douteux, si l'on considère l'ensemble des périodes de huit années depuis 1844, que le rendement moyen n'a pas cessé de décroître jusqu'après la cinquième :

1844-1851	15hl,60
1852-1859	14 ,82
1860-1867	12 ,12
1868-1875	10 ,99
1876-1883	9 ,43

mais, dans la sixième période, 1884-1891, il s'est relevé à 11hl,44, et

TABLEAU V. — Broadbalk field.

Résultats moyens de la culture pour deux périodes de 20 années et pour la période

Production

NUMÉROS des parcelles.	POIDS ET COMPOSITION DES ENGRAIS A L'HECTARE ET PAR AN.	GRAIN HECTOLITRES. Moyennes. 20 ans (1852-1871)	20 ans (1872-1891)	40 ans (1852-1891)	53e année (1896)	54e année (1897)
0.	Superphosphate (3 fois autant que sur les parcelles 5 et autres)[1]	15,83	13,35	14,59	»	»
1.	Sulfates de potasse, soude et magnésie (2 fois autant que sur les parcelles 5 et autres)[1]	13,69	9,65	11,67	»	»
2 *a* . . .	Fumier de ferme (35 000 kilogr. depuis 1883) ; jusqu'alors sans engrais	33,22	30,31	31,32	35,92	28,74
2 *b* . . .	Fumier de ferme (35 000 kilogr. depuis 1843) . . .				39,52	33,45
3.	Sans engrais depuis 1843	13,02	10,55	11,77	15,04	7,97
4.	Sans engrais depuis 1852 (antérieurement superphosphate et sulfate d'ammoniaque)	14,14	10,44	12,30	14,59	8,75
5 (*a* et *b*).	224 kilogr. sulfate de potasse, 112 kilogr. sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate	15,27	11,78	13,50	18,19	11,56
6 (*a* et *b*).	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate et 224 kilogrammes de sels ammoniacaux.	23,80	19,87	21,83	26,83	17,40
7 (*a* et *b*).	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate et 448 kilogr. de sels ammoniacaux.	31,66	28,07	29,86	33,46	25,71
8 (*a* et *b*).	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate et 672 kilogr. de sels ammoniacaux.	34,35	31,66	33,00	39,63	33,23
9 *a* . . .	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate et 308 kilogr. de nitrate de soude.	33,12	30,76	31,94	29,19	23,13
9 *b* . . .	308 kilogr. de nitrate de soude	23,35	17,63	20,49	29,86	21,33
10 *a* . . .	448 kilogr. de sels ammoniacaux depuis 1845 ; engrais minéral en 1844	20,21	16,16	18,19	19,53	15,72
10 *b* . . .	448 kilogr. de sels ammoniacaux depuis 1845 (sauf en 1846 et 1849), engrais minéral en 1844, 1848 et 1850)	23,24	17,40	20,32	20,54	14,82
11 (*a* et *b*).	448 kilogr. de sels ammoniacaux et 440 kilogr. de superphosphate	24,15	20,43	22,79	21,56	14,37
12 (*a* et *b*).	448 kilogr. de sels ammoniacaux, 440 kilogr. de superphosphate et 411 kilogr. de sulfate de soude .	30,42	25,15	27,80	30,53	19,64
13 (*a* et *b*).	448 kilogr. de sels ammoniacaux, 440 kilogr. de superphosphate et 224 kilogr. de sulfate de potasse.	30,42	26,94	28,66	30,53	2 ,5

1. Pour les parcelles 0 et 1, les moyennes se réfèrent à deux périodes, chacune de 16 années, soit à une période totale d

Expériences sur la culture du froment.

totale de 40 années (1852-1891), comparés à ceux des 53e et 54e récoltes (1896 et 1897).

à l'hectare et par an.

VANNÉ.					PAILLE ET BALLES.					MOYENNE ANNUELLE 46 années (1852-1897). — Grain vanné.	Nos des parcelles.
POIDS DE L'HECTOLITRE.					POIDS A L'HECTARE.						
Moyennes.			53e année	54e année	Moyennes.			53e année	54e année		
20 ans (1852-1871)	20 ans (1872-1891)	40 ans (1852-1891)	(1896)	(1897)	20 ans (1852-1871)	20 ans (1872-1891)	40 ans. (1852-1891)	(1896)	(1897)		
										hectol.	
65,15	65,71	65,43	»	»	1 961	1 412	1 686	»	»	»	0
64,73	65,29	65,01	»	»	1 801	1 114	1 458	»	»	»	1
74,82	75,29	75,05	71,45 79,80	68,79 76,06	4 252	3 938	4 095	5 100 5 559	3 703 4 283	27,1 a 31,7 b	2
71,90	73,30	72,60	76,54	75,16	1 682	1 082	1 380	1 474	972	11,9	3
72,82	72,98	72,90	76,84	73,92	1 776	1 051	1 410	1 491	1 051		4
73,45	73,60	73,50	76,71	73,92	1 883	1 223	1 553	1 883	1 302	13,5	5
74,07	74,85	74,46	77,65	75,30	3 076	2 401	2 738	3 122	2 134	21,8	6
73,92	75,00	74,50	79,64	76,40	4 441	3 939	4 190	4 190	3 546	29,8	7
73,60	74,85	74,23	80,15	76,40	5 194	4 974	5 084	5 664	4 896	33,1	8
72,82	74,38	73,60	77,34	75,78	5 210	4 739	4 974	3 216	3 264	26,8 a	9
70,63	70,63	70,63	77,65	75,47	3 546	2 322	2 934	3 562	2 934	27,3 b	
71,25	71,56	71,40	77,65	72,82	2 714	1 851	2 285	2 323	1 993	17,6 a	10
72,35	71,56	71,95	77,49	72,66	3 107	2 040	2 574	2 401	2 103	19,6 b	
71,56	72,35	71,95	77,49	71,87	3 311	2 626	2 980	2 870	2 375	22,1	11
73,76	73,92	73,84	78,27	73,60	4 064	3 286	3 672	3 718	2 683	27,2	12
74,38	75,30	74,85	79,21	75,78	4 252	3 734	3 990	3 828	3 404	28,5	13

32 années (1852-1883).

TABLEAU V (*suite*). — Broadbalk field.

Résultats moyens de la culture pour deux périodes de 20 années et pour la période

Production

NUMÉROS des parcelles.	POIDS ET COMPOSITION DES ENGRAIS A L'HECTARE ET PAR AN.	GRAIN — HECTOLITRES. Moyennes. 20 ans (1852-1871)	20 ans (1872-1891)	40 ans (1852-1891)	53e année (1896)	54e année (1897)
14 (*a* et *b*).	448 kilogr. de sels ammoniacaux, 440 kilogr. de superphosphate et 314 kilogr. de sulfate de magnésie	30,42	26,15	28,29	26,38	17,50
15 *a*	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate et 448 kilogr. de sels ammoniacaux	29,52	26,50	28,00	27,61	18,41
15 *b*	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate, 448 kilogr. de sels ammoniacaux (jusque 1872, 336 kilogr. de sels ammoniacaux et 560 kilogr. de tourteaux)	30,54	26,50	28,52		
16 (*a* et *b*).	De 1852 à 1864 (13 années), 224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kil. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate et 896 kilogr. de sels ammoniacaux De 1865 à 1883 (19 années sans engrais) Depuis 1884, 224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogrammes de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 440 kilogr. de superphosphate et 616 kilogr. de nitrate	29,08	19,98	24,53	33,90	25,34
17 (*a* et *b*).	448 kilogr. de sels ammoniacaux, alternant avec engrais minéral (parcelle 17)	28,40	26,61	27,50	32,11	9,88
18 (*a* et *b*).	224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie et 440 kilogr. de superphosphate alternant avec 448 kilogr. de sels ammoniacaux	15,94	11,67	13,80	13,27	27,40
19.	De 1878 à 1882, 1 900 kilogr. de tourteaux et depuis 1883, 2 116 kilogr. de tourteaux. Antérieurement pendant 27 années (1852-1878), 440 kilogr. de superphosphate, 336 kilogr. de sulfate ammoniaque et 560 kilogr. de tourteaux	27,61	23,46	25,55	32,33	19,76
20.	Sans engrais depuis 1843	12,90	11,33	12,12[2]	12,57	7,18
21.	Engrais minéral comme parcelle 5, plus 112 kilogr. de chlorhydrate d'ammoniaque de 1852 à 1883; puis cessé[3]	19,08	15,15	17,10	»	»
22.	Engrais minéral comme parcelle 5, plus 112 kilogr. sulfate d'ammoniaque de 1852 à 1883, puis cessé[3]	18,86	15.94	17,40	»	»

1. La parcelle 18 a reçu, pour la récolte de 1897, 448 kilogr. de sels ammoniacaux.

2. En 1868, les pesées n'ont pas été faites à cause d'accident. La parcelle 20 elle-même, après la récolte de 1893, a ét 7 années, depuis 1884.

3. Pour les parcelles 21 et 22, les moyennes se réfèrent à deux périodes, chacune de 16 ans, soit à une période totale d

Expériences sur la culture du froment.

totale de 40 années (1852-1891), comparés à ceux des 53e et 54e récoltes (1896 et 1897).

à l'hectare et par an.

VANNÉ.					PAILLE ET BALLES.					MOYENNE ANNUELLE 46 années (1852-1897). — Grain vanné.	Nos des parcelles.
POIDS DE L'HECTOLITRE.					POIDS A L'HECTARE.						
Moyennes.			53e année	54e année	Moyennes.			53e année	54e année		
20 ans (1852-1871)	20 ans (1872-1891)	40 ans (1852-1891)	(1896)	(1897)	20 ans (1852-1871)	20 ans (1872-1891)	40 ans (1852-1891)	(1896)	(1897)		
										hectol.	
74,07	73,76	73,90	78,59	73,92	4 126	3 452	3 789	3 216	2 526	27,4	14
74,38	74,85	74,60	77,65	75,60	4 080	3 467	3 773	3 342	2 416	27,7	15
77,54	74,85	74,70			4 253	3 467	3 860				
73,45	73,76	73,60	79,04	75,47	4 535	2 776	3 655	4 425	4 127	32,0	16
74,23	74,85	74,54	79,52	74,38	3 929	3 562	3 745	3 945	1 095	14,2	17
73,29	73,29	73,29	76,40	76,84[1]	2 024	1 412	1 718	1 663	3 671[1]	27,0	18
73,14	73,60	73,37	76,71	75,47	3 655	2 918	3 285	4 048	2 636	24,0	19
72,03	72,35	72,19[2]	76,40	76,24	1 742	1 192	1 467[2]	1 443	1 223	12,1	20
72,82	73,29	73,05	»	»	2 479	1 792	2 135	»	»	»	21
72,66	72,82	72,74	»	»	2 448	1 835	2 140	»	»	»	22

[1] réunie à la parcelle 19 et remplacée par une nouvelle parcelle du terrain adjacent qui avait été laissé en jachère pendant [2] 2 années (1852-1883).

TABLEAU VI. — Broadbalk field. Expériences sur la culture du froment.

Résultats moyens de la culture pendant les 8 premières années (1844-1851) sur un certain nombre de parcelles-types.

(Hectolitres de grain récolté.)

PARCELLES.	POIDS ET COMPOSITION DES ENGRAIS.	1844.	1845.	1846.	1847.	1848.	1849.	1850.	1851.	MOYENNES des 8 années
		hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.
2. .	35 000 kilogr. fumier de ferme.	18,41	28,74	25,11	26,82	23,01	27,84	25,60	26,61	25,15
3. .	Sans engrais	13,47	20,88	16,16	15,15	13,24	17,28	14,25	14,25	15,60
10 *a*.	1844, engrais minéral; 1844-1851, sels ammoniacaux = 96 kilogr. azote			25,22	23,12	17,28	29,30	24,89	25,93	23,35
10 *b*.	1844, engrais minéral; 1845, sels ammoniacaux seuls; 1846, sans engrais; 1847, sels ammoniacaux seuls; 1848, engrais minéral avec sels ammoniacaux; 1849, sels ammoniacaux seuls; 1850, engrais minéral; 1851, sels ammoniacaux seuls	13,92	28,62	15,60	23,12	22,56	29,08	16,16	25,71	21,88
5. .	Engrais minéral seul.	»	»	»	»	»	»	»	»	26,04
17. .	Engrais minéral et sels ammoniacaux (96 kilogr. azote) alternant chaque année	»	»	»	»	»	»	»	»	27,16
18. .	Engrais minéral et sels ammoniacaux (96 kilogr. azote) alternant chaque année inversement à parcelle 17. . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	25,93
16. .	Engrais minéral avec sels ammoniacaux (192 kilogr. azote).	»	»	»	»	»	»	»	»	27,61

tandis que dans la 53e année, 1896, il remonte jusqu'à $15^{hl},04$, il redescend brusquement dans la 54e année, 1897, à $7^{hl},97$.

Les analyses sont venues confirmer, à divers intervalles de temps, la diminution progressive dans la teneur en azote du sol. Il n'en est pas moins difficile d'apprécier la réduction due à l'épuisement du sol même, indépendamment des grandes variations causées d'année en année par les saisons.

Le point de départ fait défaut pour établir un rendement initial de la parcelle, qui puisse servir aux comparaisons annuelles. On sait seulement qu'en 1839, tout le champ de Broadbalk fut traité au fumier, et qu'il eut à produire successivement, suivant l'assolement en cours jusqu'en 1844, des navets (consommés sur place), de l'orge, des pois, du blé et de l'avoine.

Quoique, à l'expiration de ces cinq soles sans nouvel engrais, le sol fût épuisé, dans le sens agricole, de façon à nécessiter un apport de fumure, il est certain qu'il avait conservé un stock de matières fertilisantes. Mais alors, on pouvait s'attendre après une culture de blé sur blé pendant huit ans (1844-1851), sans engrais, à ce que le stock fût pour la plus grande partie utilisé, ou, du moins, qu'il n'y eût plus de stock attribuable aux cultures antérieures. Or, par une coïncidence assez singulière, le rendement moyen de ces huit années a été supérieur à celui constaté jusqu'alors.

Sans entrer dans la discussion très approfondie à laquelle a donné lieu le départ à faire, dans la diminution du rendement, pour cause d'épuisement du sol et de la variation des saisons, si l'on admet que le produit normal et initial de la parcelle sans engrais était de 14,37 hectolitres à l'hectare, on constate qu'il a baissé en moyenne, d'année en année, pendant quarante ans (1852-1891), de 14,97 litres par hectare. Que deviendra cette réduction par la suite? Atteindra-t-elle une limite constante, aux environs de laquelle agira seulement la variation des saisons?

D'après les analyses, on a évalué qu'en trente années (1852 à 1881), la parcelle sans engrais a produit par ses récoltes de blé $20^{kg},83$ d'azote par an, et perdu par le drainage $11^{kg},55$, soit ensemble $32^{kg},38$. En outre, le sol aurait perdu, à la profondeur de $0^{m},68$, deux tiers environ de cette quantité ; ce qui laisserait encore

à justifier une production de 10 kilogr. environ d'azote. Or, les pluies, etc., ont pu en fournir 5 kilogr. et la semence, 2 kilogr. ; il en resterait donc bien peu à attribuer à d'autres sources.

Ce résultat n'est pas dû à la faculté productive du sol de Broadbalk, car le taux d'azote, dans les échantillons prélevés en 1893[1], sur 0m,22, jusqu'à la profondeur totale de 2m,74, a été le suivant :

0m,025 à 0m,22.	0.1110	p. 100.
0 ,25 à 0 ,45.	0.0720	—
0 ,48 à 0 ,68.	0.0609	—
0 ,71 à 0 ,91.	0.0482	—
0 ,93 à 1 ,14.	0.0445	—
1 ,16 à 1 ,37.	0.0436	—
1 ,39 à 1 ,60.	0.0335	—
1 ,62 à 1 ,82.	0.0284	—
1 ,85 à 2 ,05.	0.0264	—
2 ,08 à 2 ,28.	0.0214	—
2 ,31 à 2 ,51.	0.0219	—
2 ,53 à 2 ,74.	0.0251	—

Le taux d'azote dans le sous-sol de Broadbalk est considérablement inférieur à celui de la moyenne des terres à blé de la Grande-Bretagne; moins de moitié par rapport à la moyenne des terres en prairie permanente, et de deux tiers moindre que celui des sols à prairie de l'Illinois. Les sous-sols sont également très pauvres en azote.

Enfin, on peut remarquer qu'une fumure complète à l'engrais minéral, appliquée annuellement, n'a augmenté le rendement, par rapport à la parcelle sans engrais, que de 67 litres à l'hectare et par an.

Ce n'est donc pas le manque de matières minérales, mais bien d'azote, qui a réduit le rendement. Malgré cela, si la moyenne de la parcelle sans engrais dépasse celle obtenue aux États-Unis, en y comprenant les riches terres à prairies, et, on peut dire, du globe en général, c'est qu'un soin extrême a été pris d'arracher les mauvaises herbes qui s'approprient une large part des éléments fertilisants du sol.

---

1. Ces échantillons furent prélevés en un même point, pour les faire figurer à l'Exposition de Chicago.

Parcelle avec fumier. — Le rendement moyen en grain de la parcelle 2 avec fumier (à la dose de 35 000 kilogr. par hectare) a été, pour les huit premières années, de $25^{hl},15$; de $32^{hl},22$ pour les vingt années suivantes et de $30^{hl},31$ pour les vingt années suivantes jusqu'en 1891; soit une moyenne de $31^{hl},32$ pendant quarante ans (1852-1891).

Les produits les plus élevés de cette longue période ont été $43^{hl},56$ en 1891, $40^{hl},87$ en 1894, et les plus bas, $14^{hl},37$ en 1879 et $17^{hl},17$ en 1853.

Le sol de la parcelle 2 révèle, sur la première épaisseur de $0^{m},22$, une grande accumulation d'azote, près du double de celle constatée dans toutes les autres parcelles de Broadbalk; pourtant cette fertilité ne met pas les produits à l'abri des mauvaises saisons. En effet, les récoltes de froment ne témoignent jamais d'une végétation exubérante, et, dans les années défavorables, en raison du développement des herbes parasites qu'il est impossible de déraciner par les pluies, sans nuire à la récolte, le produit est relativement peu élevé.

Si, comme pour la parcelle sans engrais, dans le but de déterminer l'augmentation, ou la diminution de rendement de la parcelle à fumier, on prend pour base le rendement moyen de sept seulement des premières années, 1844-1871, soit $26^{hl},30$[1], on constate que l'augmentation moyenne annuelle, du fait de l'accumulation, équivaut à $4^{hl},54$. Elle se serait répartie sur toute la période, au cas où elle eût été uniforme, qu'elle ne représenterait que 22 litres et demi, d'année en année.

Le rendement moyen, pendant quarante ans, de la parcelle à fumier de Broadbalk, soit $31^{hl},32$, excède de $6^{hl},28$ celui obtenu aux États-Unis dans la culture ordinaire, et correspond au triple du produit récolté d'une manière générale sur le globe.

Parcelles avec engrais minéraux et azotés. — La question posée de savoir quels sont les éléments du fumier qui sont le plus efficaces pour assurer de bonnes récoltes dans un sol compact, épuisé au

1. Cette moyenne a été adoptée, bien que deux des sept années aient eu un rendement supérieur à 27 hectolitres, et deux, un rendement au-dessus de $26^{hl},50$.

sens agricole, avec un sous-sol argileux, amène la recherche de l'action des divers engrais auxiliaires, minéraux et azotés, appliqués à Broadbalk.

L'engrais minéral seul (parcelle 5) n'a donné en quarante années par rapport à la parcelle 3 sans engrais, qu'un excédent de $1^{hl},73$. Dans les huit années précédentes (1844-1851), la parcelle 5 avait reçu des engrais minéraux et azotés, tandis que la parcelle sans engrais avait porté huit récoltes de blé sans aucune addition.

Par l'apport de 224 kilogr. de sels ammoniacaux (parcelle 6), la moyenne annuelle s'accroît de $8^{hl},33$; par l'apport double, soit de 448 kilogr. de sels ammoniacaux (parcelle 7), elle s'accroît annuellement encore de 8 hectolitres; enfin, par l'apport triple, soit de 672 kilogr. de sels ammoniacaux (parcelle 8), l'augmentation n'est plus que de $3^{hl},14$. Il s'ensuit qu'il est impossible de décider, en se basant uniquement sur des expériences d'engrais, si la condition du sol est trop favorable, ou si on applique un excédent d'engrais.

L'azote, à l'état de nitrate, a donné un rendement plus élevé que l'azote en égale quantité, à l'état d'ammoniaque. D'une part, le nitrate, toujours appliqué au printemps, n'est pas soumis à l'action du drainage pendant l'hiver, mais comme il est très soluble, très rapidement distribué et disponible pour la plante, il est très sujet, d'autre part, à déperdition par l'action du drainage, lorsque de grosses pluies succèdent aux semailles. Jusqu'en 1878, les sels ammoniacaux appliqués à l'automne ont donné lieu à de grandes pertes d'azote, à l'état de nitrates, par le drainage, comme des recherches spéciales l'ont démontré.

La comparaison, année par année, des rendements obtenus sur une parcelle n'ayant reçu pendant quarante-trois ans que de l'engrais minéral (parcelle 5), avec ceux obtenus sur des parcelles (17 et 18) ayant reçu alternativement de l'engrais minéral et des sels ammoniacaux (96 kilogr. d'azote), montre que l'application de l'azote, dans tous les cas, a considérablement accru le rendement, et souvent doublé, par rapport à celui de la parcelle 5. Chaque fois où l'engrais minéral seul a suivi l'engrais ammoniacal, le rendement s'est abaissé, pour égaler approximativement celui de la parcelle 5.

En comparant les moyennes de huit ans (1844-1851) et de quarante ans (1852-1891), sur ces mêmes parcelles, on remarque le même écart entre les résultats de l'application continue de l'engrais minéral et de l'application alternative de cet engrais et des sels ammoniacaux.

Dans la première période, l'engrais minéral seul (parcelle 5) donne une moyenne de $26^{hl},04$, tandis que pour les parcelles 17 et 18 où l'engrais minéral alterne avec les sels ammoniacaux, les moyennes sont de $27^{hl},16$ et $25^{hl},93$.

Dans la deuxième période de quarante années, l'excédent de rendement dû à l'application de l'engrais minéral alternant avec l'engrais ammoniacal, sur les parcelles 17 et 18, n'est que de 22 litres par an, pour des récoltes de 13 à 14 hectolitres.

Sur ces mêmes parcelles, la moyenne pendant quarante années du rendement des sels ammoniacaux succédant à l'engrais minéral est de $27^{hl},90$; ou environ le double de celle de l'engrais minéral succédant aux sels ammoniacaux ($13^{hl},80$).

Ainsi est démontrée l'inefficacité, sinon l'absence, d'un résidu d'azote disponible dans le sol, quand on applique des sels ammoniacaux. A cet état, l'azote s'épuise la même année où il est appliqué, soit par la récolte, soit autrement.

La parcelle 16 permet de juger des effets d'une fumure abondante (engrais minéral complet avec sels ammoniacaux à la dose de 192 kilogr. d'azote) pendant treize années consécutives (1852-1864), suivie de la cessation de toute fumure pendant les dix-neuf années ultérieures (1865-1883), et de la reprise de fumure, à l'aide d'un mélange d'engrais minéral et de nitrate de soude équivalant à 96 kilogrammes d'azote, depuis 1884.

Pendant les treize années de forte fumure, minérale et azotée, le rendement moyen a été $35^{hl},48$. A deux reprises différentes, il a excédé 45 hectolitres.

Dans les trois années qui ont suivi (1884-1886), sans engrais, la moyenne du rendement est descendue à $19^{hl},42$; puis, dans les deux périodes de huit années, toujours sans engrais, à $14^{hl},93$ et $10^{hl},55$.

En d'autres termes, pendant dix-neuf années sans engrais, la par-

celle 16 fournit une récolte moyenne de $13^{hl},13$; tandis que la parcelle 5, avec engrais minéral seul depuis 1852, présente une moyenne, pour la même période, de $11^{hl},78$, et la parcelle 3, sans engrais, depuis 1839, en offre une de $10^{hl},21$. On est porté à croire, d'après cela, que l'excédent en faveur de la parcelle 16, est dû au résidu de l'engrais minéral associé à l'engrais ammoniacal en excès, mais principalement, comme on le montrera plus loin, à l'augmentation du résidu dans le sol des récoltes antérieures.

La parcelle 16, soumise de nouveau au régime de l'engrais minéral associé au nitrate, à partir de 1884, a présenté, pour une période de huit ans (1884-1891), un rendement moyen de $33^{hl},68$, c'est-à-dire inférieur de $1^{hl},47$ à celui de la parcelle 2 qui avait reçu annuellement 35 000 kilogr. de fumier depuis cinquante et une années.

Azote de l'engrais et du sol. — Que devient donc l'azote de l'engrais qui n'est pas prélevé par les récoltes?

L'examen des rendements moyens obtenus sur les parcelles de Broadbalk, consacrées à la culture du froment, avec la même dose d'azote (96 kilogr.) dans l'engrais ammoniacal ou nitraté, soit les parcelles n°s 10, 11, 12, 13, 14, 7 et 9 (tableau VI), dans l'ordre de leurs récoltes progressives, relativement à la parcelle 5 qui n'avait reçu que de l'engrais minéral, servira à répondre à cette question.

Le tableau VII présente, dans la colonne 1, l'excédent d'azote produit annuellement sur les sept parcelles comparées dans leurs récoltes, par rapport à la parcelle 5; dans la colonne 2, la perte annuelle d'azote nitrique par le drainage; dans la colonne 3, l'excédent annuel d'azote dans le sol de la surface, par rapport à la parcelle 5; enfin, dans la colonne 4, le rapport entre l'excédent d'azote dans le sol et 100 d'excédent dans les récoltes.

On reconnaît que l'augmentation d'azote dans les récoltes varie notablement, pour le même apport d'azote dans l'engrais, suivant l'apport des éléments minéraux. La parcelle 10, qui ne reçoit que l'engrais ammoniacal, offre le moindre excédent, tandis que les parcelles 7 et 9, qui reçoivent l'engrais minéral le plus complet, offrent un excédent plus que double.

La perte calculée de l'azote par le drainage suit une progression inverse, car la parcelle 10 présente le maximum de perte, alors que les parcelles 7 et 9 présentent des minima.

TABLEAU VII. — Broadbalk field. Expériences sur la culture du froment.

Évaluation de l'azote par hectare et par an, en 30 années (1851-1881).

NUMÉROS des parcelles.	COMPOSITION DES ENGRAIS.	AZOTE. Excédent par rapport à la parcelle 5 dans les récoltes. 1	Perte par rapport à la parcelle 5 par le drainage. 2	Excédent par rapport à la parcelle 5 dans le sol sur 0m,22. 3	Rapport entre excédent dans le sol pour 100 d'excédent des récoltes. 4
		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
10.	Sels ammoniacaux = 96 kilogr. azote.	13,90	34,97	5,37	43,37
11.	Sels ammoniacaux = 96 kilogr. avec superphosphate	19,83	31,94	13,00	73,42
12.	Sels ammoniacaux = 96 kilogr. avec superphosphate et sulfate de soude.	22,64	27,46	16,36	73,75
13.	Sels ammoniacaux = 96 kilogr. avec superphosphate et sulfate de potasse.	26,23	28,69	19,94	85,29
14.	Sels ammoniacaux = 96 kilogr. avec superphosphate et sulfate de magnésie.	27,01	30,82	17,37	72,06
7.	Sels ammoniacaux = 96 kilogr. avec superphosphate et sulfates de soude, de potasse et de magnésie	29,02	21,29	21,62	83,50
9.	Nitrate de soude = 96 kilogr. avec superphosphate et sulfates de soude, de potasse et de magnésie	29,70	26,56	20,73	79,80

L'excédent d'azote constaté dans le sol des parcelles, par rapport à la parcelle 5, concorde naturellement avec celui prélevé par les récoltes. La parcelle 10, pour laquelle l'augmentation dans la récolte est moindre et la déperdition par drainage plus grande, accuse un moindre excédent d'azote dans le sol. L'inverse a lieu pour les parcelles 7 et 9.

Il s'ensuit que si l'excédent d'azote présent dans le sol n'est pas en relation directe avec la quantité que fournit l'engrais, il en a

une évidente avec l'augmentation même de l'azote des récoltes. En effet, sauf pour la parcelle 10, qui ne reçoit que des sels ammoniacaux, sans engrais minéral, on remarque colonne 4, une relation uniforme dans la série des autres parcelles, quant à l'excédent conservé dans le sol. Les variations résultent des conditions mêmes de la végétation. Dès lors, indépendamment de l'engrais fourni, l'excédent d'azote retenu par le sol est subordonné aux résidus des récoltes (chaume, racines, et peut-être des herbes parasites) dont la quantité augmente suivant la nature des récoltes.

En employant, par hectare, de moindres doses de sels ammoniacaux, ou de nitrates dans la culture ordinaire, on observe une déperdition par le drainage moindre que dans les parcelles en culture expérimentale, telle que la montre le tableau VII. En outre, dans le sol et le sous-sol de Rothamsted, reposant sur la craie, le drainage naturel est assez satisfaisant pour que toute cause de perte d'azote à l'état libre soit éliminée.

Action de l'engrais minéral. — L'influence des engrais minéraux, en présence d'une même dose d'azote fournie par l'engrais, ressort de la confrontation des rendements, par rapport à la parcelle 5, des parcelles 10 *a* et *b*, 11, 12, 13, 14 et 7.

Le tableau VIII reproduit, sous une forme plus détaillée, les rendements moyens par périodes successives de huit années, pour deux périodes de vingt années et pour la période totale de quarante années du tableau général.

La parcelle 10 *a*, qui avait reçu de l'engrais minéral en 1844, a été traitée à l'engrais ammoniacal seul, depuis 1845, en donnant pour rendement moyen des huit premières années (1844-1851) $23^{hl},35$. Après 1852, la moyenne a été de $20^{hl},21$ pendant les vingt premières années, et de $16^{hl},16$ pendant les vingt années suivantes, soit, pour quarante années, de $18^{hl},19$, bien supérieure à celle de la parcelle 5, à engrais minéral seul.

La parcelle 10 *b*, qui avait reçu de l'engrais minéral en 1844, 1848 et 1850, et de l'engrais ammoniacal en 1845, 1847 à 1849 et 1851, traitée à l'engrais ammoniacal seul, depuis 1852, a eu comme rendement moyen, comparé à celui des huit premières années,

21hl,88 d'abord, puis 23kl,24 pour vingt années, enfin, 17hl,40 pour vingt autres années, soit 20hl,32 pour quarante années.

TABLEAU VIII. — Broadbalk field. Expériences sur la culture du froment.

Rendements moyens en grain vanné, par hectare et par an, sur les parcelles à engrais minéral, avec addition d'engrais ammoniacaux.

NOMBRE d'années.	PÉRIODES	PARCELLES							
		5.	10 *a*.	10 *b*.	11.	12.	13.	14.	7.
		hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.
8	1844-1851	26,04	23,35	21,88	25,60	25,26	25,45	25,11	26,26
8	1852-1859	17,06	20,43	25,34	26,60	30,76	30,20	30,76	31,89
8	1860-1867	13,69	21,55	25,11	26,15	31,43	30,87	30,87	32,55
8	1868-1875	12,57	17,06	18,07	21,21	26,94	28,17	27,72	27,84
8	1876-1883	11,33	14,70	16,27	19,87	22,33	15,27	24,89	25,15
8	1884-1891	12,34	16,61	17,28	19,19	26,49	28,96	27,39	31,21
20	1852-1871	15,27	20,21	23,24	25,15	30,42	30,42	30,42	31,66
20	1872-1891	11,78	16,16	17,40	20,43	25,15	26,94	26,15	28,07
40	1852-1891	13,50	18,19	20,32	22,79	27,80	28,66	28,29	29,86

Sans potasse, mais avec du superphosphate, l'engrais ammoniacal (parcelle 11) a donné comme moyenne des huit premières années 25hl,60, des vingt années suivantes 25hl,15, des vingt années postérieures 20hl,43, soit pour les quarante années (1852-1891) : 21hl,79.

L'addition du sulfate de soude à l'engrais ammoniacal associé au superphosphate (parcelle 12) a porté le rendement des huit premières années, soit 25hl,26, à 30hl,42 pendant les vingt premières années suivantes, mais l'a réduit à 25hl,15 dans la seconde période de vingt années; ce qui représente, comme moyenne générale pour quarante années, 27hl,80. Il y a lieu de remarquer qu'avant 1852 la parcelle 12 avait reçu de la potasse.

La parcelle 13, traitée par le sulfate de potasse, en addition de l'engrais ammoniacal associé au superphosphate, avait reçu également de la potasse avant 1852. En regard du produit moyen de 25hl,45 pendant les huit premières années (1844-1851), elle a fourni 30hl,42 pour la période des vingt années suivantes : 26hl,94 pour

une seconde période de vingt années, soit $28^{hl},66$ pour les quarante années.

Le sulfate de magnésie ajouté au mélange de la parcelle précédente, dans la parcelle 14, qui avait reçu également de la potasse avant 1852, a donné comme rendement moyen des huit premières années $25^{hl},11$. Dans les vingt années suivantes, il a été de $30^{hl},42$, et dans les vingt autres années, de $26^{hl},15$; soit, pour quarante ans, de $28^{hl},29$.

Enfin, sur la parcelle 7, où l'engrais ammoniacal a été ajouté à l'engrais minéral complet, les huit premières années ont donné en moyenne annuelle, par hectare, $26^{hl},26$; les vingt années depuis 1852, $31^{hl},66$; les vingt années suivantes, $28^{hl},07$, et, pour les quarante années, le rendement moyen a été de $29^{hl},86$.

Potasse. — C'est par la comparaison des parcelles 12, 13 et 14 avec la parcelle 11 sans potasse, que l'action de cette base apparaît, non seulement quand elle a été fournie au sol par l'engrais, mais encore comme résidu d'apports antérieurs, pendant une longue période. Le déficit des récoltes, lorsque la potasse n'est qu'à l'état de résidu, ressort également de la comparaison avec les parcelles qui ont reçu annuellement des engrais potassiques.

Dans le tableau IX sont indiquées les quantités en kilogrammes, par hectare, de potasse, de soude et d'acide phosphorique prélevées par le grain, la paille et le produit total (grain et paille) sur les parcelles 11, 12, 13 et 14, pendant les quatre périodes décennales et la période totale de quarante années, 1852-1891.

Parcelle 11. — Sels ammoniacaux = 96 kilogr. azote et superphosphate;

Parcelle 12. — Sels ammoniacaux = 96 kilogr. azote; superphosphate et sulfate de soude (potasse avant 1852);

Parcelle 13. — Sels ammoniacaux = 96 kilogr. azote; superphosphate et sulfate de potasse (potasse avant 1852);

Parcelle 14. — Sels ammoniacaux = 96 kilogr. azote; superphosphate et sulfate de magnésie (potasse avant 1852).

La parcelle 11 n'a pas reçu de potasse depuis quarante-huit ans, et la parcelle 12 de même, pendant quarante ans, mais elle avait un résidu provenant des huit années précédentes, tandis que la par-

TABLEAU IX. — Broadbalk field. Expériences sur la culture du froment.

Rendement en potasse, en soude et en acide phosphorique par hectare et par an du grain, de la paille et du produit total, pendant 40 années (1852-1891).

PARCELLES.	GRAIN.				PAILLE.				PRODUIT TOTAL.			
	11.	12.	13.	14.	11.	12.	13.	14.	11.	12.	13.	14.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Potasse.												
10 ans (1852-1861)	10,41	12,78	12,66	12,66	24,21	38,11	46,95	43,15	34,62	50,89	59,61	55,81
10 ans (1862-1871)	9,85	12,78	13,67	13,00	19,27	29,59	48,20	30,82	29,12	42,37	61,87	43,82
10 ans (1872-1881)	7,61	9,20	10,19	9,41	12,89	20,50	35,53	21,06	20,50	29,70	45,72	30,47
10 ans (1882-1891)	7,95	10,41	11,87	10,97	12,44	23,65	44,83	23,87	20,39	34,06	57,71	34,84
40 ans (1852-1891)	8,96	11,32	12,10	11,54	17,26	28,02	43,88	29,70	26,22	39,34	55,98	41,24
Soude.												
10 ans (1852-1861)	0,03	0,08	0,04	0,07	1,73	1,00	0,40	0,61	1,76	1,08	0,44	0,68
10 ans (1862-1871)	0,08	0,08	0,05	0,04	2,67	1,90	0,12	1,20	2,75	1,98	0,17	1,24
10 ans (1872-1881)	0,04	0,04	0,03	0,05	1,51	1,28	0,27	0,94	1,55	1,32	0,30	0,99
10 ans (1882-1891)	0,04	0,03	0,04	0,04	0,72	0,92	0,06	0,52	0,76	0,95	0,10	0,56
40 ans (1852-1891)	0,05	0,05	0,04	0,05	1,65	1,27	0,21	0,83	1,70	1,33	0,25	0,87
Acide phosphorique.												
10 ans (1852-1861)	16,70	19,83	19,83	20,06	5,60	6,17	5,83	5,60	22,30	26,00	25,66	25,66
10 ans (1862-1871)	15,24	19,05	20,39	19,72	4,92	5,37	5,71	5,38	20,16	24,42	26,10	25,10
10 ans (1872-1881)	12,78	15,13	16,92	15,69	4,36	4,81	5,48	5,04	17,14	19,94	22,40	20,73
10 ans (1882-1891)	12,22	15,92	18,04	16,69	5,39	5,82	6,49	6,17	17,59	21,74	24,53	22,86
40 ans (1852-1891)	14,23	17,48	18,80	18,04	5,04	5,60	5,83	5,60	19,27	23,08	24,63	23,64

celle 13 a reçu de la potasse consécutivement pendant quarante ans, chaque année, après huit années également de fumure potassique abondante, et la parcelle 14 n'a pas reçu de potasse pendant quarante ans, après en avoir reçu pendant les huit années précédentes.

M. Richter, attaché antérieurement au laboratoire de Rothamsted, et, depuis, à celui de Charlottenburg (Berlin), a fait l'analyse complète des cendres du grain vanné et de la paille, représentant le produit total des quatre périodes décennales, sur chacune des quatre parcelles précitées. Les données de ces analyses permettent d'établir une comparaison, quant à l'action de la potasse, de la soude et de l'acide phosphorique, appliqués pendant les huit années 1844-1851.

La parcelle 11, sans potasse depuis 1844, a fourni comme moyennes, pour son produit total, grain et paille, pendant les quatre périodes décennales : $34^{kg},62$; $29^{kg},12$; $20^{kg},50$ et $20^{kg},39$, c'est-à-dire une diminution croissante du taux de potasse des récoltes. La parcelle 12, sans potasse pendant quarante années, mais après traitement avec engrais potassiques pendant les huit années précédentes, a eu comme moyennes correspondantes : $50^{kg},89$; $42^{kg},37$; $29^{kg},70$ et $34^{kg},06$; c'est-à-dire que le taux de potasse des récoltes y est bien plus élevé que dans celles de la parcelle précédente, laissée absolument sans potasse. Dans la parcelle 14, sans apport annuel de potasse, mais avec un résidu des engrais potassiques appliqués pendant les huit années antérieures, les moyennes sont encore plus élevées que dans la parcelle 12, soit : $55^{kg},81$; $43^{kg},82$; $30^{kg},47$; et $34^{kg},84$. Enfin, dans la parcelle 13, soumise pendant quarante-huit ans à l'engrais potassique, les moyennes sont de beaucoup les plus fortes, à savoir : $59^{kg},61$; $61^{kg},87$; $45^{kg},82$ et $56^{kg},71$ par hectare et par an.

Les moyennes générales des quarante années (1852-1891) font ressortir plus clairement encore ces différences, car, par rapport à la parcelle 11, restée absolument sans potasse, dont la moyenne générale est de $26^{kg},22$, celles des parcelles 11 et 14 n'ayant reçu des engrais potassiques que dans les huit années antécédentes, atteignent $39^{kg},34$ et $41^{kg},24$, correspondant à un taux de potasse des récoltes une fois et demie plus élevé ; tandis que la parcelle 13, soumise aux engrais potassiques pendant quarante-huit ans, a, comme

moyenne générale des quarante dernières années, 55^{kg},98, c'est-à-dire plus de deux fois autant que la parcelle 11.

Le résidu potassique des huit premières années, disponible pour les récoltes ultérieures, d'après les calculs relatifs à la balance entre l'apport d'engrais nouveaux en potasse et le prélèvement de potasse par les récoltes successives, paraît avoir été à peu près épuisé à l'expiration des quarante années.

Le taux de potasse, comme il résulte de l'examen du tableau IX, varie beaucoup moins dans le grain des différentes parcelles que dans la paille. Sauf pour la parcelle 11, sans apport de potasse, dont le produit a souffert, même au début de la période de quarante ans, on remarque que dans les parcelles 12 et 14, dont les récoltes n'ont profité que du résidu des huit années antérieures, les moyennes de potasse à l'hectare et par an, sont de 11^{kg},32 et 11^{kg},54 contre 12^{kg},10 dans le grain de la parcelle 13, traitée à l'engrais potassique sans discontinuité ; mais dans la paille des parcelles 12 et 14, les moyennes ne sont que de 28^{kg},02 et 29^{kg},70 contre 43^{kg},88 de la parcelle 13. Il semblerait dès lors que si, dans la période de sa croissance, le froment prélève abondamment la potasse, en présence d'un stock ou d'un apport abondant dans l'engrais, même supérieur à ses besoins, pour constituer la paille, il ne conserve dans le grain, quand il n'y a pas déficit de potasse, que la quantité nécessaire à la constitution du produit final.

Soude. — La soude, en bien moins grande quantité dans le froment (grain et paille) que dans l'orge, accuse un taux supérieur à l'hectare si la potasse fait relativement défaut ; et un taux inférieur, seulement lorsque la potasse est abondante. C'est dans la paille surtout que l'on détermine la plus forte proportion de soude.

Acide phosphorique. — Pour l'acide phosphorique, qui a été fourni également aux quatre parcelles, les différences ne sont pas dues au stock disponible, ni à l'apport des superphosphates, mais bien aux variations du poids de grain et de paille résultant de la présence ou de l'apport d'autres éléments. C'est dans le grain du froment, comme dans celui de l'orge, que la plus grande partie de l'acide phosphorique se concentre. La paille de froment, d'ailleurs, en utilise plus que celle de l'orge.

b) AUTRES EXPÉRIENCES QUE CELLES DE BROADBALK FIELD

Les conséquences des essais de Broadbalk field, relativement à l'épuisement initial du sol, à la nature et à l'action des engrais, se vérifient-elles sur d'autres sols?

MM. Lawes et Gilbert ont répondu à cette question, assurément peu fondée, en cultivant le froment avec les mêmes engrais, pendant huit années de suite (1856-1863) sur un autre champ de Rothamsted, *Hoos field*[1]; pendant trois années (1852-1854) à Holkham Park, dans le comté de Norfolk[2], et pendant quatre années (1856-1859) à Rodmersham, dans le comté de Kent[3].

Dans la pièce de Hoos field, les expériences eurent lieu sur un sol ayant déjà porté plusieurs récoltes de froment sans engrais.

A Holkham, le sol est léger et maigre, formé d'un sable argileux coloré, reposant sur de la marne très calcaire. On y avait cultivé du froment l'année précédente avec les mêmes engrais et, deux années auparavant, des turneps, fumés avec du guano et du fumier.

A Romersham, le sol argileux repose sur de la craie. On y avait cultivé successivement, en 1853, des turneps avec guano et superphosphate; en 1854, de l'orge; en 1855, des fèves avec fumier.

Dans le tableau n° X, les données obtenues au moyen des principaux fertilisants ont été reproduites, par rapport à la parcelle laissée sans engrais et à celles de Broadbalk field.

La coïncidence des résultats est des plus frappantes. L'engrais minéral employé seul offre peu d'augmentation; les sels ammoniacaux seuls en offrent une bien plus considérable; et le mélange assure un rendement encore plus élevé. Les parcelles sans engrais, à Holkham et à Rodmersham, n'ayant pas été choisies comme à Rothamsted, à l'expiration d'une rotation sans engrais, c'est-à-dire à l'état d'épuisement, ont accusé des rendements naturellement plus élevés; les engrais azotés y ont de même fourni une augmentation

---

1. *Journ. Roy. Agr. Soc. Engl.*, t. XXV; part. I et II, p. 100 (1864).
2. *Idem*, t. XVI, part. I (1855).
3. *Idem*, t. XXIII (1862).

moins sensible. On n'en doit pas moins conclure qu'à de rares exceptions près, plus une terre est épuisée dans le sens agricole usuel, plus l'efficacité des engrais azotés employés exclusivement est manifeste par rapport à celle des engrais minéraux employés de même.

TABLEAU X. — Expériences comparatives de culture du froment dans diverses localités.

ENGRAIS COMMERCIAUX appliqués chaque année.	RENDEMENTS MOYENS ANNUELS			
	Rothamsted, 8 ans (1856-1863).		Holkham 3 ans (1852-1854)	Rodmersham. 4 ans (1856-1859)
	Broadbalk.	Hoosfield.		
Grain vanné par hectare en hectolitres.				
1. *Sans engrais*	14,37	13,47	16,11	22,96
2. Engrais minéraux seuls	17,06	14,43	17,18	25,60
3. Sels ammoniacaux seuls	20,83	23,46	24,40	28,24
4. Engrais minéraux et sels ammoniacaux	34,52	33,57	29,30	30,09
Poids du blé vanné à l'hectolitre en kilogrammes.				
1. *Sans engrais*	71,10	71,98	76,45	74,10
2. Engrais minéraux seuls	72,85	72,98	77,46	74,98
3. Sels ammoniacaux seuls	69,85	70,98	74,35	72,98
4. Engrais minéraux et sels ammoniacaux	73,48	72,35	77,85	72,10
Poids total de grain à l'hectare en kilogrammes.				
1. *Sans engrais*	1 109	1 038	1 245	1 754
2. Engrais minéraux seuls	1 336	1 106	1 347	1 973
3. Sels ammoniacaux seuls	1 649	1 814	1 834	2 149
4. Engrais minéraux et sels ammoniacaux	2 698	2 572	2 303	2 264
Paille et balles à l'hectare en kilogrammes.				
1. *Sans engrais*	1 821	1 635	3 343	3 747
2. Engrais minéraux seuls	2 041	1 713	3 949	4 426
3. Sels ammoniacaux seuls	2 843	3 032	4 788	5 367
4. Engrais minéraux et sels ammoniacaux	4 680	4 501	5 696	6 384

Culture du froment par le système Lois Weedon. — Les mêmes conclusions se sont vérifiées, en outre, à l'occasion des essais du système Smith, à Rothamsted.

Le mode de culture présenté par le révérend Smith en 1849, appliqué sur sa ferme de Lois Weedon, a été décrit en 1856, dans un petit livre intitulé : *Lois Weedon Husbandry*.

Smith se proposait de produire la même récolte de froment tous les ans, sur un même champ dont la surface eût été divisée alternativement en bandes cultivées et en bandes de jachère. Les bandes restées en jachère recevaient deux gros labours, deux façons simples à la herse, un roulage, etc., à l'aide d'instruments spéciaux de l'invention de Smith. Le système était exclusivement basé sur le développement maximum de l'état mécanique du sol, par rapport à l'action atmosphérique, sans aucun recours à l'engrais.

MM. Lawes et Gilbert ont répété avec le plus grand soin, sur un de leurs champs, à Rothamsted, les expériences de culture du froment, d'après les indications de Smith, pendant quatre années consécutives, 1852 à 1855.

Le sol consacré à ces essais est une argile forte, avec un sous-sol d'argile jaune rougeâtre, reposant sur la craie. Il constitue une terre à froment de moyenne qualité. On y avait obtenu une récolte de froment en 1850, et on l'avait laissée en jachère en 1851. Des trois parcelles réservées du champ, la première fut cultivée par le procédé Smith ; la deuxième fut emblavée en froment, sans jamais passer par la jachère, et la troisième, qui porta du froment la première année, resta en jachère pendant la deuxième année, et produisit encore du froment pendant la troisième et la quatrième année.

La parcelle spéciale, ensemencée en lignes à une graine, et à deux graines par trou, aux distances recommandées par Smith, reçut les façons désignées par l'inventeur.

Les résultats ont été les suivants :

1re récolte, 1851-1852. — Après avoir labouré, hersé, etc., le sol, par les procédés ordinaires, on ensemença à raison d'une graine et de deux graines en septembre ; on donna deux façons à la houe et on enleva les mauvaises herbes. La récolte, coupée au mois d'août suivant, fut trouvée sale, maigre et attaquée par la nielle (rendement : $9^{hl},09$ et $14^{hl},02$ à l'hectare).

2e récolte, 1852-1853. — Les bandes laissées en jachère, qui avaient été défoncées à $0^{m},35$ et $0^{m},38$ en décembre 1851, furent

remuées à la fourche au printemps, puis à l'automne, avant l'ensemencement au mois d'octobre 1852. Même culture que précédemment. Récolte coupée en septembre 1853, maigre, sale et niellée : $3^{hl},64$ et $4^{hl},72$ à l'hectare.

3e récolte, 1853-1854. — On défonça à $0^{m},35$ et $0^{m},38$ le chaume des bandes qui avaient porté l'avant-dernière récolte, et l'on remua deux fois à la fourche, avant d'ensemencer en octobre 1853. Récolte coupée en septembre 1854 : $10^{hl},10$ et $13^{hl},08$ à l'hectare, plus propre, mais maigre et niellée.

4e récolte, 1854-1855. — Défoncement et façons à la fourche, comme précédemment. Ensemencement en septembre 1854. Récolte en septembre 1855, propre, mais maigre et niellée : $4^{hl},21$ et $5^{hl},78$ à l'hectare.

Ainsi le système Lois Weedon, appliqué à Rothamsted, a été loin de donner de brillants résultats.

La surface aménagée dans les bandes alternativement cultivées et laissées en jachère ne fournit pas un rendement supérieur à celui de la même surface constamment emblavée. Bien plus, la parcelle restée au repos complet pendant toute l'année, qui avait donné une récolte très supérieure à celle des terres soumises au procédé Smith, comme aussi à celles toujours emblavées, n'offrit plus, à la quatrième récolte, qu'un produit identique à celui de la terre qui n'avait cessé de produire.

L'échec de la culture par la méthode de Lois Weedon ayant été communiqué à M. Smith, il suggéra que le sol de Rothamsted devait manquer d'éléments minéraux solubles, assimilables par le froment; qu'il fallait lui donner la matière minérale nécessaire, et qu'alors, le sol étant suffisamment poreux et perméable, l'atmosphère fournirait abondamment la substance organique.

Bien qu'il fût évident que le sol ne manquait pas de matières minérales, puisque, dans les mêmes circonstances, la parcelle cultivée en jachère ordinaire avait donné un rendement bien plus élevé, dû à l'alimentation atmosphérique, MM. Lawes et Gilbert firent un cinquième essai dans le même champ, après la récolte de 1855. Ils le partagèrent en quatre parcelles, de telle sorte que chacune offrit une portion égale de sol déjà défoncé, remué à la fourche et en

jachère, et de sol avec chaume ou en jachère commune. On laboura alors le tout et on emblava par le procédé ordinaire. Une des parcelles fut laissée sans engrais; une autre ne reçut que des engrais minéraux; une troisième, des sels ammoniacaux, et la quatrième, un mélange de sels minéraux et ammoniacaux. On procédait ainsi à l'analyse du sol par l'emploi d'engrais incomplets.

TABLEAU XI. — Expériences de culture comparative du froment (1852-1856)

DÉSIGNATION DES CULTURES ET ENGRAIS.	PRODUIT A L'HECTARE. Grain vanné. Volume.	Poids.	Paille et balles.	Produit total Grain et paille.	QUALITÉ du produit. Poids de l'hectolitre de grain.	Rapport pour 100 du grain à la paille.
	hectol.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	p. 100
A. Expériences du système Lois Weedon. (Moyennes des 4 années, 1852-1855.)						
1. Système Smith, une graine par trou. . .	7,39	463	1 243	1 790	66,85	4
2. Système Smith, deux graines par trou .	9,37	641	1 519	25,55	67,85	4
3. Jachère cultivée ordinaire, 1851-1852, blé; 1852-1853, jachère; 1853-1854, blé; 1854-1855; moitié blé, moitié jachère[1].	17,74	1 233	2 656	4 000	70,10	50.6
4. Champ adjacent, sans engrais, de 1852 à 1855 .	12,47	934	1 942	2 966	69,73	50.7
B. Expériences sur les parcelles soumises antérieurement au système Lois Weedon, avec divers engrais. (Récolte de 1856[2].)						
1. Sans engrais	18,86	1 402	2 406	3 953	74,35	64.3
2. Engrais minéraux seuls (336 kilogr. de sulfate de potasse, 224 kilogr. de sulfate de soude. 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 224 kilogrammes d'os calcinés, 168 kilogr. d'acide sulfurique.	21,11	1 607	2 725	4 444	76,10	63.1
3. Sels ammoniacaux seuls (224 kilogr. de sulfate et 224 kilogr. de chlorhydrate d'ammoniaque).	31,72	2 319	4 306	6 837	73,10	58.8
4. Sels minéraux et ammoniacaux en mélange (nos 2 et 3)	36,94	2 724	5 497	8 371	72,73	52.3
5. Parcelle en jachère cultivée, ordinaire, sans engrais.	19,48	1 459	2 368	3 924	74,85	65.7
C. Expériences sur le champ adjacent; 13e année de froment consécutif. (Récolte de 1856.)						
1. Sans engrais.	13,02	884	1 746	2 746	67,73	57.3
2. Sels minéraux seuls (formule tableau I). . . .	16,90	1 190	2 255	3 563	70,35	58.0
3. Sels ammoniacaux seuls (formule tableau I). .	21,72	1 505	3 159	4 846	69,23	53.4
4. Sels minéraux et ammoniacaux en mélange (formule tableau I).	33,46	2 420	5 111	7 702	72,35	50.7

1. Le froment, pour la culture avec jachère ordinaire, a été semé au semoir, à raison de 180 litres à l'hectare.

2. Même observation qu'en 1 pour la quantité de semence à l'hectare et pour le semoir.

Les données de cette expérience ont été comparées dans le tableau XI, avec les produits moyens des essais précédents de culture Smith (1852-1855) et d'un champ adjacent qui avait porté successivement treize récoltes de blé (treizième récolte en 1856).

Les expériences relatées dans la division B du tableau XI indiquent les effets des divers engrais, aussi bien sur la partie du champ défoncé, façonné et ameubli à la manière Smith, que sur la partie traitée par la culture en jachère ordinaire. La parcelle restée sans engrais, dans cette division, comparée à celle de la division A soumise à la culture par jachère ordinaire, a fourni, à un hectolitre de grain près, et à quelques kilogrammes de paille en plus, le même rendement total. Ce qui indique bien que le mauvais résultat des récoltes, sur les parcelles soumises à la culture Smith, était plutôt attribuable au maigre ensemencement et au sous-sol ramené à la surface, qu'au manque de matières minérales, comme Smith le présumait.

Si maintenant l'on compare la parcelle sans engrais de la division B, avec les autres de la même division, on constate que :

Les engrais minéraux seuls ont donné un faible accroissement de $2^{hl},25$ de blé et de 319 kilogr. de paille ;

Les sels ammoniacaux seuls ont fourni $12^{hl},86$ d'augmentation de rendement en grain et de 1 900 kilogr. de paille ;

Le mélange des sels minéraux et ammoniacaux a donné un excédent de $18^{hl},08$ de grain et de 3 091 kilogr. de paille.

La comparaison des divisions A et C donnerait lieu à des observations non moins intéressantes. L'azote évidemment ne faisait pas défaut dans le sol, puisque l'on en a trouvé une quantité notable à l'état combiné, dans les sols analysés de Lois Weedon et de Rothamsted ; mais cet azote combiné n'était pas à l'état assimilable, et l'on n'avait pas alors les moyens de distinguer exactement les combinaisons azotées solubles de celles qui ne le sont pas.

c) HOOS FIELD. CULTURE DU FROMENT ALTERNANT AVEC LA JACHÈRE (1881-1899)

Depuis 1881 jusqu'à présent, 40 ares du champ de Hoos field ont été consacrés à la culture du froment sans engrais, alternant avec la

jachère. Il est permis, d'après cette expérience continuée pendant 43 années, de comparer les résultats obtenus sans engrais par cette culture à jachère intercalaire, avec ceux fournis sans jachère, dans le champ voisin de Broadbalk.

De plus, la parcelle de Hoos field cultivée en froment, étant adjacente des parcelles cultivées en légumineuses, depuis la même date, la comparaison des résultats offre un intérêt particulier pour apprécier la nature et le rôle du sol dans les deux cas.

Tandis que l'on procédait, en 1881, à l'échantillonnage des sols et des sous-sols des diverses parcelles en légumineuses, on échantillonnait également, sur cinq points différents, à des profondeurs successives de $0^m,228$ jusqu'à $0^m,68$, le sol de la parcelle en froment sur jachère. En 1883, on renouvela simultanément la prise d'échantillons à la profondeur totale de $2^m,74$, sur des couches d'une épaisseur de $0^m,228$, en quatre points différents; et en 1885, à la même profondeur, sur trois autres points de la parcelle à froment, pour doser l'azote total des couches superficielles, et l'acide nitrique, dans l'ensemble des couches, y compris celles du sous-sol.

Un seul échantillon de grain et de paille fut prélevé chaque année pour les analyses.

Le blé de semence, dans les expériences de Hoos field, a été le même, chaque année, comme pour Broadbalk field; à savoir en 1852, *Red Cluster;* de 1854 à 1881 inclusivement, *Red Rostock,* et depuis 1882, *Club* ou *Square head* (rouge).

Dans la période préliminaire de cinq années, la parcelle qui avait été emblavée en 1850 fut laissée en jachère en 1851, puis emblavée de nouveau pour expérience en 1852, remise en jachère en 1853, en froment en 1854, et, à partir de 1855, partagée en deux moitiés dont une en jachère et l'autre en froment alternativement, la récolte annuelle n'ayant plus lieu que sur 20 ares. Ce dernier plan d'expérience a été continué jusqu'à ce jour.

Le tableau XII reproduit les données relatives aux rendements moyens en grain et en paille et au produit total (grain et paille), par hectare et par an, évalués d'après la moitié emblavée, ainsi que le poids moyen de l'hectolitre de grain, récolté à Hoos field sans engrais, mais après jachère, le tout en regard des mêmes données

TABLEAU XII. — Hoos field. Rendement moyen du froment après jachère, calculé d'après le produit par hectare et par an de la moitié emblavée.

	GRAIN VANNÉ.			POIDS de l'hectolitre.		GRAIN TOTAL.			PAILLE TOTALE.			PRODUIT TOTAL (grain et paille).		
	Blé après jachère.	Blé après blé.	Différences.	Blé après jachère.	Blé après blé.	Blé après jachère.	Blé après blé.	Différences.	Blé après jachère.	Blé après blé.	Différences.	Blé après jachère.	Blé après blé.	Différences.
	hectol.	hectol.	hectol.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
5 années (1851-1855) . . .	17,28	13,24	+ 4,01	69,56	70,69	1 316	1 060	+ 256	2 514	1 918	+ 596	3 830	2 980	+ 850
10 années (1856-1865) . . .	23,46	14,25	+ 9,20	72,95	72,18	1 796	1 100	+ 696	2 771	1 725	+ 1 046	3 568	2 825	+ 1 743
10 années (1866-1875) . . .	12,12	10,66	+ 1,46	72,18	72,95	965	835	+ 130	1 588	1 205	+ 383	2 553	2 040	+ 513
10 années (1876-1885) . . .	13,24	10,10	+ 3,14	72,83	72,95	1 007	784	+ 223	1 387	1 084	+ 303	2 395	1 868	+ 527
10 années (1886-1895) . . .	13,38	10,88	+ 2,70	74,97	75,09	1 042	842	+ 200	1 403	1 035	+ 368	2 446	1 878	+ 568
40 années (1856-1895) . . .	15,55	11,45	+ 4,10	73,23	73,30	1 202	890	+ 312	1 787	1 262	+ 525	2 990	2 152	+ 838

TABLEAU XIII. — Hoos field. Rendement moyen du froment après jachère, calculé d'après le produit par hectare et par an de toute la surface, moitié emblavée, moitié en jachère.

	GRAIN VANNÉ.			POIDS de l'hectolitre.		GRAIN TOTAL.			PAILLE TOTALE.			PRODUIT TOTAL (grain et paille).		
	Blé après jachère.	Blé après blé.	Différences.	Blé après jachère.	Blé après blé.	Blé après jachère.	Blé après blé.	Différences.	Blé après jachère.	Blé après blé.	Différences.	Blé après jachère.	Blé après blé.	Différences.
	hectol.	hectol.	hectol.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
5 années (1851-1855) . . .	8,41	13,24	— 4,83	»	»	653	1 061	— 403	1 258	1 918	— 661	1 915	2 980	— 1 065
10 années (1856-1865) . . .	11,73	14,25	— 2,52	»	»	899	1 100	— 201	1 385	1 725	— 340	2 284	2 825	— 541
10 années (1866-1875) . . .	6,06	10,66	— 4,60	»	»	482	835	— 353	794	1 205	— 411	1 277	2 040	— 763
10 années (1876-1885) . . .	6,62	10,10	— 3,48	»	»	503	784	— 281	694	1 084	— 390	1 196	1 868	— 672
10 années (1886-1895) . . .	6,70	10,88	— 4,18	»	»	521	842	— 321	701	1 035	— 334	1 222	1 878	— 656
40 années (1856-1895) . . .	7,77	11,45	— 3,68	»	»	601	890	— 289	893	1 262	— 369	1 495	2 152	— 657

constatées à Broadbalk field sur la parcelle cultivée en froment une année après l'autre, également sans engrais. Les rendements moyens s'appliquent à la période initiale de cinq années (1851-1855), aux quatre périodes décennales successives et à la période totale de quarante années (1856-1895).

Dans le tableau XIII qui fait suite, les moyennes ont été calculées pour les mêmes périodes, sur base de l'hectare, dont moitié en jachère et moitié en froment, c'est-à-dire de toute la surface soumise à l'expérience.

Il résulte de l'examen du premier tableau que dans la première période décennale (1856-1865), alors que le résidu disponible des précédentes récoltes obtenues après jachère était assez abondant, les rendements en grain vanné, en grain total et paille, et les moyennes du produit total (grain et paille), sont de beaucoup supérieurs aux rendements moyens de la parcelle de Broadbalk où le froment a succédé au froment sans discontinuité. Cette différence en plus va en diminuant dans la deuxième période décennale pour augmenter faiblement dans la troisième, et diminuer de nouveau dans la quatrième période, sauf pour la paille.

Durant les quarante années (1856-1895) les différences en faveur de la parcelle de Hoos field sont les suivantes :

		PAR HECTARE et par an.
Grain vanné	hectol.	4,16
Grain total.	kilogr.	311
Paille totale	kilogr.	524
Produit total.	kilogr.	828

D'après le deuxième tableau, dans lequel les rendements sont évalués pour la surface entière, dont moitié en jachère et moitié en froment, les résultats sont inverses, et la parcelle de Broadbalk accuse des excédents par rapport à celle de Hoos field, à savoir :

Grain vanné	hectol.	3,70
Grain total	kilogr.	290
Paille totale	kilogr.	369
Produit total.	kilogr.	657

Il est permis de conclure de cette comparaison que s'il y a

augmentation de rendement (grain et paille) pour le froment cultivé après jachère, par rapport au froment cultivé d'une manière continue, et sans engrais dans les deux cas, c'est au détriment de la récolte d'une année sur deux; et aussi que, pour une surface déterminée, il y a plus de froment récolté, en le cultivant une année après l'autre, qu'en intercalant une année de jachère, à cause sans doute de la grande déperdition d'azote assimilable par le drainage pendant la longue durée de la jachère.

d) RENDEMENTS COMPARATIFS DES VARIÉTÉS DE FROMENT (1868-1883)

Depuis 1868 jusqu'en 1883, MM. Lawes et Gilbert ont fait cultiver, sur diverses pièces de terre (Sawpit field, Foster field, Long Hoos field, Upper Harpenden field, Little Knotwood field, Harpenden field, Rickyard field, etc.) de la ferme de Rothamsted, un grand nombre de variétés réputées de froment, afin de comparer leur rendement à l'hectare et le poids de l'hectolitre de grain, sous l'influence des divers mélanges fertilisants, d'un emploi courant dans la pratique.

En raison du nombre restreint de variétés mises en expérience dans les trois premières années, les résultats compris dans le tableau XIV ne s'appliquent qu'aux onze années depuis 1871, et les moyennes se réfèrent, pour le plus grand nombre des variétés, à huit années seulement (1871-1878).

En 1879, les récoltes de Little Knotwood field furent attaquées par les vers; de larges espaces furent décimés; beaucoup de grain fut perdu, ou récolté sans être mûr. En 1880, sans doute par suite de la mauvaise récolte de l'année précédente, une grande partie de la semence ne leva pas, ou très tardivement, et les mauvaises herbes envahirent les parcelles. Malgré ces mauvaises conditions auxquelles se joignit la nielle, quelques récoltes furent passables; les blés blancs avaient le plus souffert. C'est à cause de ces deux mauvaises récoltes successives, et de celle de 1882, endommagée par les vents et les pluies torrentielles de juillet, que les moyennes du tableau n'embrassent que huit années, de 1871 à 1878.

TABLEAU XIV. — Expériences de culture de 26 différentes variét

VARIÉTÉS DE FROMENT CULTIVÉES.	1871. — SAWPIT. — 376 kilogr. guano par hectare après récolte enlevée de mangolds.		1872. — FOSTER. — 250 kilogr. superphosphate. 250 kilogr. nitrate de soude après récolte enlevée de racines.		1873. — LONG HOOS. — 188 kilogr. nitrate de soude après récolte de mangolds sur fumier de ferme.		1874. — UPPER HARPENDE — 250 kilogr. nitrate après récolt de mangolds sur fumier de ferme.	
	Grain vanné.	Poids de l'hectolitre.	Grain vanné.	Poids de l'hectolitre.	Grain vanné.	Poids de l'hectolitre.	Grain vanné.	Poid de l'hec tolitr
	hectol.	kilogr.	hectol.	kilogr.	hectol.	kilogr.	hectol.	kilogr
1. White Chaff (rouge)	»	»	»	»	36,49	72,98	49,51	76,8
2. Rivett (rouge)	»	»	»	»	43,22	71,25	60,17	72,5
3. Chubb Wheat (rouge)	25,48	75,16	35,93	77,14	32,11	73,76	45,36	76,2
4. Red Chaff (blanc)	29,41	76,84	33,23	78,27	31,66	75,78	43,78	76,7
5. Browick (rouge)	31,66	74,85	36,38	76,54	34,57	74,23	45,31	76,4
6. Red Wonder (rouge)	28,06	73,60	39,29	75,90	33,34	74,85	49,51	77,6
7. Burwell (Old Lamma) [rouge]	27,95	77,34	37,04	78,59	31,55	76,71	42,43	79,2
8. Bristol Red (rouge)	26,38	75,90	39,86	76,71	35,47	75,47	47,93	76,8
9. Red Nursery (rouge)	30,69	78,59	40,64	81,09	25,00	77,34	36,93	81,4
10. Red Langham (rouge)	27,61	75,30	39,29	76,40	30,65	75,47	47,71	78,5
11. Woolly Ear (blanc)	28,06	76,24	38,39	77,49	33,23	76,24	45,42	78,2
12. Hardcastle (blanc)	»	»	41,77	77,14	37,72	74,54	44,57	78,5
13. Golden drop Hallett (rouge)	35,47	76,54	44,68	78,59	39,74	74,54	45,87	78,5
14. Victoria White Hallett (blanc)	30,31	76,09	40,61	78,09	34,35	74,54	39,74	77,6
15. Hunter White Hallett (blanc)	24,13	73,92	35,70	77,02	34,69	71,41	40,75	76,2
16. Original Red Hallett (rouge)	26,94	73,14	31,66	74,85	32,67	70,00	39,18	75,7
17. White Chiddam (blanc)	24,13	77,65	31,80	78,59	28,51	73,92	37,72	78,2
18. Red Rostock (rouge)	33,23	75,00	»	»	41,54	70,78	48,27	74,7
19. Casey White (blanc)	23,83	75,30	37,83	76,71	33,68	73,29	46,81	75,7
20. Golden Rough-Chaff (rouge)	29,64	76,84	35,25	77,96	34,58	74,54	46,81	77,9
21. Bole Prolific (rouge)	30,20	76,71	38,39	77,79	40,64	71,72	43,22	77,3
22. Club Wheat (rouge)	32,33	75,30	41,09	77,14	42,66	72,66	53,55	77,1
23. Main Standing (blanc)	»	»	»	»	»	»	»	»
24. Main Rough-Chaff (blanc)	»	»	»	»	»	»	»	»
25. Belge (blanc)	»	»	»	»	»	»	»	»
26. Webb Challenge (blanc)	»	»	»	»	»	»	»	»
MOYENNES	28,96	75,78	37,94	77,49	34,91	73,92	45,58	77,14

1. Moyennes de 4 années.
2. Moyennes de 3 années.

le froment sur des pièces de terre différentes ; 11 années (1871-1881).

1875. — LITTLE KNOTWOOD. — 188 kilogr. nitrate après récolte enlevée de mangolds sur fumier.		1876. — HARPENDEN. — 250 kilogr. nitrate après récolte enlevée de mangolds sur fumier en 1875.		1877. — SAWPIT. — 220 kilogr. nitrate après récolte enlevée de mangolds sur fumier en 1876.		1878. — POSTER. — 250 kil. nitrate après récolte de navets blancs sur fumier et engrais minéral, partie enlevée, partie consommée sur place en 1877.		1879. — LITTLE KNOTWOOD. — 250 kil. nitrate après trèfle dont 1re et 2e coupes enlevées pour foin et le regain consommé sur place.		1880. — HARPENDEN. — 451,50 de suie après trèfle sans engrais. 1re coupe enlevée pour foin ; regain consommé sur place.		1881. — RICKYARD. — 188 kilogr. nitrate après récolte enlevée en 1880 de mangolds sur fumier et guano.		MOYENNES de 8 années (1878 à 1881).	
Grain vanné.	Poids de l'hectolitre.	Grain vanné.	Poids de l'hectolitre.	Grain vanné.	Poids de l'hectolitre.	Grain vanné.	Poids de l'hectolitre.	Grain vanné.	Poids de l'hectolitre.	Grain vanné.	Poids de l'hectolitre.	Grain vanné.	Poids de l'hectolitre.	Grain vanné.	Poids de l'hectolitre.
hectol.	kilogr.	hectol.	kilogr.	hectol.	kilogr.	hectol.	kilogr.	hectol.	kilogr.	hectol.	kilogr.	hectol.	kilogr.	hectol.	kilogr.
36,15	76,09	44,46	78,59	43,44	75,78	52,99	75,90	20,43	61,70	23,96	68,28	48,95	71,87	43,89	76,09
43,44	72,51	38,17	74,70	44,57	75,16	59,39	73,45	14,37	61,28	20,09	69,69	46,92	70,31	48,16	73,29
31,35	74,23	36,15	78,39	37,27	75,16	49,50	76,40	18,63	66,10	13,35	67,03	»	»	37,04	75,78
30,76	75,16	39,29	78,74	36,82	75,16	»	»	»	»	»	»	»	»	35,03	76,51
34,53	74,70	35,14	77,96	36,71	75,78	41,46	77,96	21,55	65,60	17,62	68,40	42,43	75,00	37,38	76,09
29,86	75,78	39,74	78,59	37,38	76,40	46,82	78,59	19,76	65,47	25,37	70,63	41,20	75,16	38,05	76,40
34,58	76,71	34,46	30,77	35,03	76,40	41,54	79,84	24,89	68,91	21,89	72,51	40,19	76,09	35,59	78,09
28,40	75,47	38,05	78,27	39,63	74,07	46,82	78,74	19,42	67,80	27,50	71,25	40,64	75,78	37,83	76,40
35,03	77,65	33,68	82,31	36,49	73,29	42,88	77,79	27,72	71,41	25,34	74,38	41,32	76,51	35,14	78,74
31,32	75,30	38,17	79,31	38,50	76,24	45,58	78,74	23,12	67,97	25,71	70,78	43,56	73,60	37,38	76,84
32,44	72,03	41,88	79,31	33,68	74,70	43,33	77,49	17,96	65,00	18,86	69,38	39,63	75,60	37,15	76,51
30,42	74,70	39,52	79,21	37,83	74,70	48,50	76,71	19,31	65,30	21,88	69,07	40,98	75,47	40,08	76,51
34,24	76,24	43,41	80,77	44,46	77,02	47,37	79,21	18,86	65,78	16,94	69,54	45,58	76,40	41,99	77,96
30,31	76,51	36,93	79,52	38,28	76,09	39,41	77,02	13,35	64,22	14,14	70,16	39,52	75,90	36,26	77,02
23,68	75,47	39,07	79,34	35,92	73,92	37,94	77,49	15,60	68,60	20,43	73,92	»	»	34,01	75,78
23,35	72,51	36,04	78,27	39,85	73,60	»	»	»	»	»	»	»	»	32,78	74,07
29,07	77,02	33,68	80,59	33,56	76,24	44,63	76,71	10,66	67,97	25,22	72,35	42,32	75,60	33,34	77,34
33,56	74,54	35,93	78,74	41,65	74,23	51,19	75,16	7,63	67,35	25,48	70,63	41,09	75,90	40,53	74,70
35,03	74,85	40,87	78,74	38,62	74,07	42,88	74,78	13,80	69,07	21,60	72,66	38,50	77,14	37,83	75,60
34,80	77,02	34,46	81,24	32,66	75,78	41,99	77,02	12,90	67,66	28,06	71,53	37,38	77,65	36,26	77,34
39,29	75,90	37,15	79,61	40,19	76,40	47,37	78,74	27,84	68,91	22,00	69,69	41,76	77,02	39,52	76,71
41,88	77,02	42,77	78,90	44,46	74,07	54,79	77,49	21,10	65,90	14,70	69,07	38,95	75,78	44,23	76,24
»	»	»	»	»	»	45,02	77,02	23,85	70,16	14,82	71,25	37,04	76,09	45,02[1]	77,02[1]
»	»	»	»	»	»	45,47	76,54	21,55	66,41	14,25	70,16	33,59	76,24	45,47[1]	76,54[1]
»	»	»	»	»	»	47,15	75,78	19,53	61,53	8,75	67,15	»	»	47,15[2]	75,78[2]
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	27,16	73,76	35,48	73,45	»	»
32,66	75,16	38,17	79,21	38,50	75,16	45,87	77,34	19,08	66,72	20,76	70,31	41,09	75,39	39,07	76,40

D'après ces moyennes, sans attendre les déductions ultérieures de MM. Lawes et Gilbert, on peut classer les dix premières variétés de froment, au point de vue du rendement en grain vanné, comme il suit :

NUMÉROS d'ordre.	NUMÉROS des variétés.		ANNÉES de récolte.	GRAIN vanné.	POIDS de l'hectolitre.
—	—		—	—	—
				hectol.	kilogr.
1	2	Rivett, rouge	6	48,16	73,29
2	22	Chubb Wheat, rouge	8	44,23	76,24
3	1	White Chaff, rouge.	6	43,89	76,09
4	13	Golden Drop Hallett, rouge .	8	41,99	77,96
5	18	Red Rostock, rouge.	7	40,53	74,70
6	12	Hardcastle, blanc	7	40,08	76,54
7	21	Bole Prolific, rouge.	8	39,52	76,71
8	6	Red Wonder, rouge	8	38,05	76,40
9	8	Bristol Red, rouge	8	37,83	76,40
10	19	Casey White, blanc.	8	37,83	75,60

Relativement au poids de l'hectolitre, le classement s'établit de la manière suivante :

NUMÉROS. d'ordre.	NUMÉROS. des variétés.		ANNÉES de récolte.	POIDS de l'hectolitre.	GRAIN vanné.
—	—		—	—	—
				kilogr.	hectol.
1	9	Nursery, rouge	8	78,74	35,14
2	7	Burwell (Old Lamma), rouge.	8	78,09	35,59
3	13	Golden Drop Hallett, rouge .	8	77,96	41,99
4	17	White Chiddam, blanc. . . .	8	77,34	33,34
5	20	Golden Rough Chaff, rouge .	8	77,34	36,26
6	14	Victoria White Hallett, blanc.	8	77,02	36,26
7	10	Red Langham, rouge	8	76,84	37,38
8	21	Bole Prolific, rouge.	8	76,71	39,52
9	11	Woolly Ear, blanc	8	76,54	37,15
10	12	Hardcastle, blanc	7	76,54	40,08

Les variétés de blé rouge ont ainsi l'avantage sous le rapport du rendement et du poids de l'hectolitre.

Comme rendement, le Hardcastle (blanc) se classe au 6e rang et le Casey White (blanc), au 10e rang ; comme poids à l'hectolitre, le White Chiddam (blanc) occupe le 4e rang, le Victoria White Hallett (blanc) le 6e, le Woolly Ear (blanc), le 9e et le Hardcastle (blanc), le 10e rang.

Deux variétés de blé rouge, le Golden drop Hallett et le Bole prolific, contre une seule variété de blé blanc, le Hardcastle, se retrouvent dans les dix premiers rangs des deux séries.

Comme moyenne générale du rendement de toutes les variétés cultivées depuis 1871, le tableau XIV indique $39^{hl},07$, et comme moyenne du poids de l'hectolitre, $76^{kg},40$.

e) EFFET DES SAISONS SUR LES RENDEMENTS ; DES SAISONS ET DES ENGRAIS SUR LA COMPOSITION DU GRAIN.

Rendement des récoltes. — Une observation générale ressort de la comparaison des rendements pendant la période totale, tels qu'ils ont été présentés dans le tableau V récapitulatif, c'est que la seconde période de vingt années (1872-1891) accuse un produit moindre que celui de la période précédente de vingt années (1852-1871) ; et cela, pour la parcelle n° 7 de Broadbalk, à engrais complet, c'est-à-dire minéral et azoté, comme pour la parcelle n° 2, avec fumier de ferme.

TABLEAU XV. — Broadbalk field. Expériences sur la culture du froment.

Rendements extrêmes en 1863 et 1879 et rendement moyen par hectare, pendant 40 années consécutives (1852-1891).

PARCELLES.	NATURE DES ENGRAIS.	GRAIN VANNÉ PAR HECTARE. Année plus favorable (1863).	Année moins favorable (1879).	Différence.	Moyenne de 40 années (1852-1891)
		hectol.	hectol.	hectol.	hectol.
3	Sans engrais	15,49	4,26	11,23	11,77
2	Fumier de ferme	39,52	14,37	25,15	31,32
5	Engrais minéral seul	17,62	5,05	12,57	13,50
6	Engrais minéral et 224 kilogr. de sels ammoniacaux = 48 kilogr. d'azote	35,58	9,43	26,15	21,83
7	Engrais minéral et 448 kilogr. de sels ammoniacaux = 96 kilogr. d'azote	48,16	14,59	33,57	29,86
9	Engrais minéral et 616 kilogr. de nitrate de soude = 96 kilogr. d'azote	49,96	19,76	30,20	31,94
8	Engrais minéral et 672 kilogr. de sels ammoniacaux = 144 kilogr. d'azote	50,07	18,52	31,55	33,00

Cette diminution ne saurait être attribuée exclusivement à l'épuisement du sol, mais bien, en partie, au nombre plus grand de mauvaises années dans une période que dans l'autre; ce qui a été le cas en particulier pour les huit années 1876-1883.

Pour apprécier l'effet des saisons sur la récolte, on a reproduit dans le tableau XV les rendements en hectolitres de grain, des deux années extrêmes pendant la période totale, à savoir, l'année 1863, la plus favorable, et l'année 1879, la plus défavorable, en regard du rendement moyen, sur un certain nombre des mêmes parcelles, pendant les quarante années.

Les parcelles sans engrais (n° 3), à engrais minéral seul (n° 5) et à à engrais minéral additionné de sels ammoniacaux ont sensiblement souffert pendant la mauvaise année (1879). Dans la plupart des cas, la différence entre les rendements des deux années extrêmes s'est rapprochée du rendement moyen général, et dans le cas des parcelles 6 et 7, elle l'a surpassé.

TABLEAU XVI. — Expériences comparatives sur la culture du froment dans différentes localités, pour des années et des sols différents.

Rendements en grain vanné par hectare.

	ROTHAMSTED.			WOBURN.	HOLKHAM.	RODMERSHAM.
	8 années (1856-1863).		40 années (1852-1891)	7 années	3 années	4 années
	Broadbalk.	Hoos.	Broadbalk.	(1877-1883)	(1852-1854)	(1856-1859)
	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.
Sans engrais	14,37	13,47	11,77	14,25	16,11	12,96
Engrais minéral seul	17,06	14,45	13,50	15,15	17,18	25,60
Sels ammoniacaux seuls (96 kil. d'azote)	20,83	23,46	18,19	21,21[1]	24,40	28,24
Engrais minéral et sels ammoniacaux (96 kilogr. d'azote) .	34,52	33,57	29,86	33,79	29,30	30,09

1. L'engrais ammoniacal appliqué à Woburn ne renferme que 48 kilogr. d'azote.

Le sol, à son tour, exerce une action spéciale sur les rendements, comme le démontre l'inspection du tableau XVI, où sont reportés

quelques-uns des chiffres déjà indiqués dans le tableau XI, en y ajoutant les moyennes de quarante années pour le champ de Broadbalk et celles de sept années de culture à Woburn (1877-1883)[1].

On remarquera que, sauf pour Rodmersham où le sol était évidemment dans un état de fertilité plus grand qu'il ne convient pour faire des essais de culture avec divers engrais, les résultats obtenus comme récoltes des parcelles-types, dans des sols différents, dans des conditions préalables différentes quant à la fumure, et pour des années dissemblables, offrent une concordance remarquable.

Rendement du grain. — Dès les premières années d'expérience de culture du froment, MM. Lawes et Gilbert avaient été frappés de l'influence des saisons et des engrais sur la composition du grain.

Dans un premier mémoire[2], M. Lawes formulait déjà, bien qu'incidemment, des conclusions contraires à l'opinion qui avait eu cours jusqu'alors. Ainsi, il déduisait de la comparaison des trois années 1844, 1845 et 1846 pour les parcelles sans engrais, que l'action du climat concorde absolument avec le caractère général de chaque saison.

		1844.	1845.	1846.
Parcelles sans engrais :		—	—	—
Grain à l'hectare.	hectol.	14,4	20,6	15,9
Paille à l'hectare.	kilogr.	1 254	3 034	1 690
Poids de l'hectolitre de grain	kilogr.	72,9	70,5	79,5
Rapport du grain à la paille par 1 000	kilogr.	821	534	797
Moyenne de toutes les autres parcelles :				
Poids de l'hectolitre de grain	kilogr.	75,7	70,5	78,5
Rapport du grain à la paille par 1 000.	kilogr.	868	499	765

C'est, en effet, dans la saison de 1845, qui a compté le plus de jours de pluie, et où la température a été la plus basse, que l'hectolitre de grain pèse le moins et que l'on obtient le plus de paille. Le

1. C'est à Woburn, sur la ferme de Birchmoor appartenant au duc de Bedford, qu'ont été renouvelées depuis 1876-1877, sous les auspices de la Société Royale d'agriculture d'Angleterre et la direction d'un comité spécial, les expériences de Rothamsted, relatives à la culture du froment, de l'orge, etc., et à l'assolement quadriennal, à l'appui de nouvelles expériences sur l'alimentation du bétail.

2. *Journ. Roy. agr. Soc. Engl.*, t. VIII, 1874.

minimum de paille correspond, au contraire, à la saison la plus sèche de 1844, et la meilleure qualité de grain, à l'été le plus chaud de 1846.

Si l'on compare le rapport du grain à la paille, et le poids de l'hectolitre de grain, sur les parcelles sans engrais et sur l'ensemble des parcelles du champ (résultats moyens), on constate une parfaite analogie ; ce qui est d'autant plus remarquable que les engrais les plus variés ont été employés, et que plusieurs d'entre eux ont doublé le produit naturel du sol.

En relevant, pour chaque récolte, les observations météorologiques et l'état respectif de la culture pendant chaque saison, dans les parcelles principales, afin de les discuter, en regard de la quantité et de la qualité du produit, MM. Lawes et Gilbert ont vérifié les conséquences qui précèdent et déterminé l'influence climatérique locale de Rothamsted. Il est évident que si, sur chaque ferme, l'on pesait soigneusement les diverses récoltes provenant d'un quart d'hectare, par exemple ; si l'on évaluait le rapport du grain à la paille ou des feuilles aux racines, et si l'on appréciait la qualité du produit, on arriverait à déterminer sûrement l'effet de chaque pluie, ou d'une modification quelconque de température, en même temps que le rendement et la qualité des diverses récoltes, avant de les enlever.

La nécessité d'observations climatologiques est ainsi démontrée, sans entrer pour cela dans la discussion des faits que MM. Lawes et Gilbert n'ont jamais oublié de présenter à l'occasion de leurs recherches.

Dans les expériences de Broadbalk notamment, les saisons ont exercé la plus grande influence sur le rôle de l'ammoniaque de l'engrais. Dans un sol dépourvu de matières minérales, une saison défavorable, par exemple, réduit l'efficacité de l'ammoniaque au-dessous de la moyenne. Sur la parcelle 6 de Broadbalk (tableau VI), où l'on applique chaque année 60 kilogr. d'ammoniaque, en même temps que des engrais minéraux, l'écart a varié entre $2^{kg},5$ et $12^{kg},5$ d'ammoniaque afin d'obtenir un hectolitre excédent de grain, avec la paille : ces deux chiffres correspondent à l'année exceptionnellement productive de 1863, et à celle très défavorable de 1852. Dans un cas (la bonne saison), il a suffi d'ajouter $2^{kg},5$ d'ammoniaque au delà

de la fumure normale, pour obtenir un hectolitre de blé d'excédent, et dans l'autre cas (la mauvaise saison), il en a fallu ajouter 12^{kg},5 afin d'obtenir le même résultat.

Composition du grain et de la paille. — L'analyse chimique du grain a pour objet de nous éclairer sur les variations de composition et de produit, dues à la culture et à la manutention du froment. MM. Lawes et Gilbert se sont attachés à cette étude, dont ils ont fait connaître les résultats dans un mémoire très important[1].

Sur des échantillons de grain et de paille, recueillis de 1843 à 1856, dans les parcelles cultivées à l'aide de divers engrais, dont les rendements en grain, en paille et en balles, et le poids par hectolitre, etc., avaient été soigneusement notés, on fit deux lots que l'on broya séparément, après avoir pesé. Sur l'un de ces lots, on détermina la matière sèche, à 100 degrés centigrades, puis les cendres, par la combustion au moufle sur des feuilles de platine. L'autre lot, grain et paille, fut partiellement desséché, afin de prévenir la décomposition, et mis de côté pour le dosage des éléments organiques. Des nombreux résultats ainsi obtenus on peut déduire l'influence des saisons et des fumures sur la proportion pour cent de matière sèche et de matières minérales dans le produit. Dans quelques cas, on dosa l'azote du grain et de la paille. Enfin, on ne fit pas moins de trente analyses complètes de cendres.

Indépendamment de ces essais, on rechercha le rendement comparatif en farine du grain des diverses récoltes, et les caractères de la farine, suivant les engrais employés chaque année à produire le froment.

Les premiers essais de mouture de grain, à l'aide d'un appareil à noix d'acier, difficile à régler, ayant donné du son imparfaitement dépouillé, MM. Lawes et Gilbert firent moudre les échantillons prélevés chaque année (50 à 100 kilogr.) dans un moulin hydraulique du voisinage, et bluter séparément la boulange de chaque échantillon, en notant la proportion pour cent de farine et de son. Une partie de chacun des produits fut alors desséchée à 100 degrés centigrades,

1. *On some points in the composition of wheat grain*, etc. (*Journ. of Chemic. Soc.*, London, 1857.)

et une autre partie, incinérée. L'azote fut dosé dans la fleur de farine et dans les issues, et les principaux éléments des cendres furent déterminés.

Enfin, MM. Lawes et Gilbert ont fait essayer, au point de vue de la panification, les divers produits du blutage, correspondant au froment obtenu dans des conditions opposées, de façon à connaître le rendement en pain pour une quantité donnée de farine; la proportion d'eau et d'azote pour cent contenus dans le pain; etc.[1].

Les conséquences essentielles auxquelles ils sont arrivés au sujet de la culture du froment, dont il s'agit dans ce chapitre, sont les suivantes :

1° Dans toutes les années où la récolte offre un développement favorable, il y a tendance à une proportion élevée pour cent de matière sèche, et, dans cette matière sèche, à une proportion inférieure de matières minérales et d'azote, aussi bien pour le grain que pour la paille;

2° La maturité du grain tend à réduire la proportion pour cent de matières minérales, et souvent, de l'azote. Ce fait est d'autant plus important que la récolte dépend, quant à son plein développement, d'une ample provision d'azote assimilable dans le sol;

3° Les divers engrais exercent une action bien plus sensible sur la quantité que sur la qualité du produit. Les différences générales dans la composition et la qualité des produits s'accusent bien autrement par les variations climatériques, ou les saisons, que par les engrais;

4° Avec des sels ammoniacaux, employés seuls, la substance sèche du grain offre une proportion d'azote plus élevée pour cent que celle du grain venu dans le même sol, sans engrais. Cette observation s'applique au mélange de sels minéraux et ammoniacaux, bien que l'avantage sous ce rapport reste aux sels ammoniacaux seuls. Il ne faudrait pas cependant en inférer que l'on peut, par la fumure, exercer une action directe sur la composition du grain et son *quantum* d'azote;

---

1. On se fera une idée du nombre de données recueillies, par ce simple fait que quarante échantillons environ ont été traités chaque année, comme il vient d'être expliqué, et que les essais sur la mouture et la boulangerie ont duré dix ans.

5° L'analyse des cendres du grain indique une fixité de composition sur laquelle l'engrais n'a aucune influence. Elle révèle surtout le degré de développement et de maturité dû à la saison. Avec une même variété de grain, arrivé à parfaite maturité, la composition des cendres est constante ;

6° Pour une saison défavorable, la composition des cendres et de la paille indique une diminution, faible mais appréciable, dans la proportion pour cent de chaux et de potasse, ainsi que de l'acide sulfurique, et une augmentation de magnésie, d'acide phosphorique et de silice[1] ;

7° L'emploi de sels ammoniacaux seuls, sur le même sol, pendant un grand nombre d'années consécutives, donne lieu, pour le grain, à une réduction appréciable d'acide phosphorique, et, pour la paille, à une réduction de silice ;

8° Si les matières minérales de la récolte, sur une surface déterminée, soumise à la culture du froment, sont beaucoup augmentées par l'emploi des sels ammoniacaux, elles le sont *a fortiori* par l'emploi du mélange des sels minéraux et ammoniacaux et par le fumier de ferme.

II. — L'ORGE

Dans presque toute l'Angleterre, l'orge se classe directement après le froment, pour la culture des céréales; dans certaines localités, elle occupe même le premier rang. C'est une des soles de l'assolement quadriennal ; elle figure d'ailleurs dans la plupart des rotations. Les conditions de sa croissance en ce qui concerne le sol, et de sa valeur commerciale, en raison des mesures fiscales dont le malt est l'objet, font qu'il y a un grand intérêt à connaître exactement son rendement, sous l'action des fumures et des diverses circonstances climatériques.

La culture de l'orge offre la plus grande analogie avec celle du

1. *Report to the British Association for 1861.*

froment ; mais elle en diffère sur quelques points. Ainsi, le blé est semé le plus souvent à l'automne ; tandis que l'orge est toujours semée au printemps ; ce qui lui donne moins de temps pour étendre ses radicelles et absorber les principes constitutifs du sol. Les terrains appropriés à la culture du froment ne le sont pas également à celle de l'orge, et fournissent, à ce point de vue, un sujet instructif d'expérience scientifique.

Dès 1845, les premiers essais de culture avaient suggéré à M. Lawes des relations définies entre l'orge et le froment ; mais les essais sur une pièce de 4 hectares furent délaissés à cause des recherches entamées ailleurs, et ne purent être repris qu'en 1852.

Les résultats des expériences instituées en 1854, sur deux pièces différentes, Barn field et Hoos field, ont été publiés dans un mémoire de 1855[1] ; ceux des six premières années (1852-1857) du champ expérimental de Hoos field, et de culture comparative sur d'autres champs, ont été rapportés dans un second mémoire de 1857[2]. Les conclusions de vingt années d'expériences (1852-1871) ont été présentées plus tard dans un travail qui correspond à celui dont l'exposé sommaire a été publié pour le froment[3]. C'est à cette étude, des plus complètes, que sont empruntés les faits caractéristiques relatifs à l'orge.

a) ESSAIS DE HOOS FIELD

Première période (1851-1872).

La pièce de Hoos field est attenante à celle de Broadbalk ; le sol y jouit des mêmes propriétés, sauf qu'il n'a pas été drainé, comme celui de Broadbalk.

Sur des terres de cette consistance, la pratique usuelle conduirait à ne faire venir l'orge qu'après des racines, consommées sur place par les moutons ; mais elles sont trop fortes pour que, dans les années humides, cette pratique soit avantageuse. Cependant on y

1. *Journ. Roy. agric. Soc. Engl.*, t. XVI, part. II, 1855.
2. *Idem*, t. XVIII, part. II, 1857.
3. *Idem*, t. IX, 2e série, parts I et II, 1873.

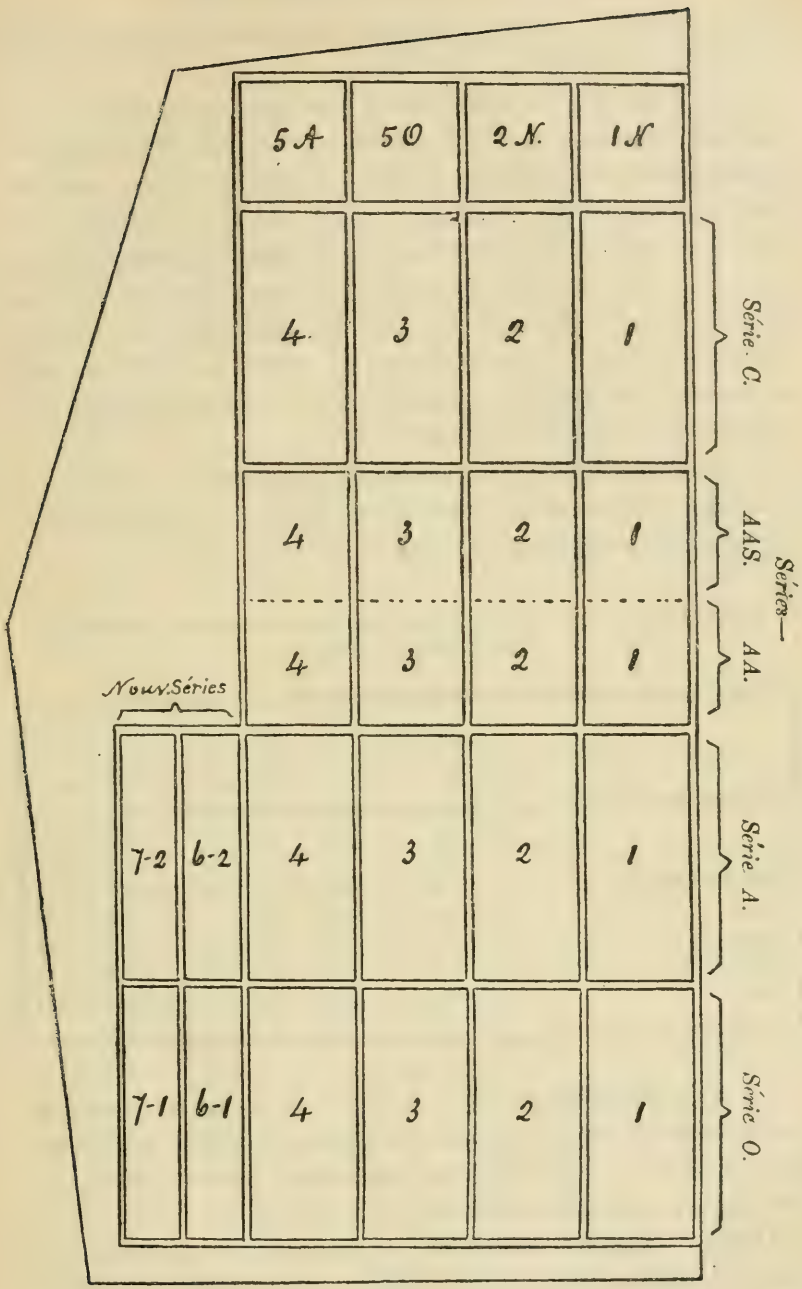


FIG. 13. — Plan parcellaire de Hoos field cultivé en orge pendant quarante-huit années.

obtient des grosses récoltes, par de bonnes années, lorsque l'orge suit une autre céréale.

Le sol de Hoos field, épuisé dans le sens agricole, fut partagé, sur une superficie totale de 2^{ha},22, en vingt-quatre parcelles à peu près rectangulaires et de surfaces variables, dont deux laissées sans engrais, sur chaque côté du champ ; une, fumée d'une manière continue avec du fumier, à raison de 35 000 kilogr. à l'hectare, et les autres soumises à divers engrais, ou mélanges analogues à ceux employés pour le froment (fig. 13). La distribution des engrais, mélangés avec des cendres argileuses en poudre, au lieu de se faire au semoir, s'est faite à la main pour éviter toute irrégularité ; et la semence a été légèrement enfouie.

L'orge adoptée pour les expériences, appartient à la variété dite *Chevalier;* et l'ensemencement, depuis 1854, s'est pratiqué sur le pied de 500 litres de grain à l'hectare.

TABLEAU I. — Composition à l'hectare de deux récoltes comparées de froment et d'orge.

ÉLÉMENTS DES RÉCOLTES.	GRAIN.		PAILLE.		PRODUIT TOTAL.	
	Blé.	Orge.	Blé.	Orge.	Blé.	Orge.
	kilogr	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Azote	37,87	36,99	14.57	13,45	50,44	50,44
Acide phosphorique	17,93	19,05	7,85	5,60	25,78	24,65
Potasse	10,65	12,89	22,98	20,74	33.63	33,63
Chaux	1,12	1,68	10,09	11,77	11,21	13,45
Magnésie	3,92	4,48	3,36	2,80	7,28	7,28
Silice	0,56	13,45	111,53	70,62	112,09	87,07

Le choix des engrais a été fixé d'après les éléments principaux d'une récolte d'orge ; pour cela, MM. Lawes et Gilbert ont indiqué dans le tableau I, qui précède, la composition d'une récolte d'orge par rapport à une récolte de froment, en admettant :

1° Pour le froment : 26^{hl},95 de grain pesant 74^{kg},85 à l'hectolitre ; soit 2 017 kilogr. de grain et 3 363 kilogr. de paille ; ensemble, 5 380 kilogr. à l'hectare ;

2° Pour l'orge : 35^{hl},95 de grain pesant 64^{kg},85 à l'hectolitre ; soit 2 330 kilogr. de grain et 2 802 kilogr. de paille ; ensemble, 5 132 kilogr. à l'hectare.

Il ressort de l'inspection de ce tableau que les éléments essentiels des deux récoltes sont, pour ainsi dire, en égale proportion. L'orge fixe au total un peu plus de chaux, mais beaucoup moins de silice que le froment, quoique l'inverse ait lieu pour le grain. Or, le plus souvent, le grain seul est exporté ; mais à Rothamsted, pour les besoins de l'expérience, le grain et la paille ont été également enlevés.

Le programme des questions à résoudre, dans la culture expérimentale de l'orge, est donc le même que pour le froment, à savoir : quelles sont les ressources fertilisantes du sol soumis à l'expérience ? Quelles sont les conditions de durée de son pouvoir fertilisant ou productif ? A quels éléments reconnaît-on les signes de l'épuisement ? En quoi les résultats de Hoos field, par exemple, s'accordent-ils avec ceux observés dans d'autres localités, ou dans la pratique usuelle de la rotation ?

La solution de ces questions a été présentée, comme pour le froment, d'après la classification suivante :

1° Quantité et qualité du rendement obtenu à l'aide des divers engrais, dans chacune des vingt premières années consécutives (1852 à 1871), avec les données climatériques de chaque année ;

2° Rendement moyen annuel, résultant de la comparaison de chacun des fertilisants pendant les vingt années ;

3° Détermination de la quantité d'ammoniaque, ou de son équivalent en azote, nécessaire pour obtenir l'excédent d'un hectolitre de grain avec la paille correspondante ;

4° Action du résidu des fumures azotées et minérales sur les récoltes ultérieures, au point de vue de l'épuisement du sol ;

5° Comparaison des résultats enregistrés à Hoos field avec ceux de Barn field après dix années consécutives de turneps, et avec ceux de Agdell field, obtenus dans un assolement quadriennal.

Tableaux de culture. — Sans entrer dans les détails de climatologie propres à chacune des vingt années, nous groupons dans le

TABLEAU II. — Hoos field. Expériences sur la culture de l'orge pendant 20 années consécutives (1852 à 1871).

NUMÉROS des parcelles.	POIDS ET COMPOSITION DES ENGRAIS A L'HECTARE ET PAR AN.	PRODUIT A L'HECTARE. Moyenne de 20 années (1852-1871). Grain vanné. Hectolitres.	Poids de l'hectolitre.	Paille totale.	20e saison (1871). Grain vanné. Hectolitres.	Poids de l'hectolitre.	Paille totale.
			kilogr.	kilogr.		kilogr.	kilogr
1 O. . .	Sans engrais.	17,96	65,30	1 475	15,04	68,60	1 380
2 O. . .	439 kilogr. de superphosphate de chaux	22,90	66,41	1 679	20,76	69,85	1 537
3 O. . .	224 kilogr. de sulfate de potasse [1], 112 kilogr. de sulfate de soude [2], 112 kilogr. de sulfate de magnésie.	20,21	66,10	1 537	17,73	69,07	1 411
4 O. . .	224 kilogr. de sulfate de potasse [1], 112 kilogr. de sulfate de soude [2], 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 439 kilogr. de superphophate.	25,34	66,55	1 804	22,45	69,38	1 757
1 A. . .	224 kilogr. de sels ammoniacaux.	29,19	65,00	2 323	32,78	69,22	2 903
2 A. . .	224 kilogr. de sels ammoniacaux, et 439 kilogr. de superphosphate	42,21	66,55	3 467	40,64	68,60	3 531
3 A. . .	224 kilogr. de sels ammoniacaux, 224 kilogr. de sulfate de potasse [1], 112 kilogr. de sulfate de soude [2], 112 kilogr. de sulfate de magnésie. . .	31,44	65,78	2 605	34,35	70,00	3 185
4 A. . .	224 kilogr. de sels ammoniacaux, 224 kilogr. de sulfate de potasse [1], 112 kilogr. de sulfate de soude [2], 112 kilogr. de sulfate de magnésie et 439 kilogr. de superphosphate	41,54	67,35	3 578	41,77	70,47	4 080
1 AA.	308 kilogr. de nitrate de soude	33,23	64,85	2 824	35,14	67,35	3 358
2 AA.	308 kilogr. de nitrate de soude et 439 kilogr. de superphosphate	44,23	66,55	3 829	41,77	69,85	4 033
3 AA.	308 kilogr. de nitrate de soude, 224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude [2] et 112 kilogr. de sulfate de magnésie.	33,57	65,16	2 997	32,55	67,80	3 185
4 AA.	308 kilogr. de nitrate de soude, 224 kilogr. de sulfate de potasse, 112 kilogr. de sulfate de soude [2], 112 kilogr. de sulfate de magnésie et 439 kilogr. de superphosphate.	44,68	66,55	4 065	41,32	70,00	4 095
1 AAS.	308 kilogr. de nitrate de soude et 448 kilogr. de silicate de soude	33,23	67,66	2 744	43,22	68,10	3 735
2 AAS.	308 kilogr. de nitrate de soude, 439 kilogr. de superphosphate et 448 kilogr. de silicate de soude.	43,33	69,69	3 687	44,46	69,22	4 335
3 AAS.	308 kilogr. de nitrate de soude, 224 kilogr. de sulfate de potasse [1], 112 kilogr. de sulfate de soude [2], 112 kilogr. de sulfate de magnésie et 448 kilogr. de silicate de soude.	38,17	68,40	3 185	43,45	67,03	3 908

1. Pendant les 6 premières années (1852-1857), le sulfate de potasse a été employé à la dose de 336 kilogr., au lieu de 224 kilogr. à l'hectare.

2. Pendant les 6 premières années, le sulfate de soude a été employé à la dose de 224 kilogr.

3. Dans les 6 premières années, le nitrate de soude fut remplacé par 448 kilogr. de sels ammoniacaux par an ; dans les 19 années suivantes (1858-1867) par 224 kilogr. de sels ammoniacaux, et n'est seulement depuis 1868 que 308 kilogr. de nitrate correspondant pour l'azote à 224 kilogr. de sels ammoniacaux ont été employés.

4. L'application des silicates, à partir de 1854, a été d'abord de 224 kilogr. de soude et de 224 kilogr. de chaux ; depuis 1860, il a été de 448 kilogr. de silicate de soude.

TABLEAU II. — Hoos field. Expériences sur la culture de l'orge pendant 20 années consécutives (1852 à 1871). [*Suite.*]

NUMÉROS des parcelles	POIDS ET COMPOSITION DES ENGRAIS A L'HECTARE ET PAR AN.	PRODUIT A L'HECTARE. Moyenne de 20 années (1852-1871). Grain vanné. Hectolitre.	Poids de l'hectolitre.	Paille totale.	20e saison (1871). Grain vanné. Hectolitre.	Poids de l'hectolitre.	Paille totale.
			kilogr.	kilogr.		kilogr.	kilogr.
3 4 A A S.	308 kilogr. de nitrate de soude, 224 kilogr. de sulfate de potasse[1], 112 kilogr. de sulfate de soude[2], 112 kilogr. de sulfate de magnésie, 439 kilogr. de superphosphate et 448 kilogr. de silicate de soude	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	4 770
1 C.	1 120 kilogr. de tourteau navette	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
2 C.	1 120 kilogr. de tourteau et 439 kilogr. de superphosphate	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
3 C.	1 120 kilogr. de tourteau, 224 kilogr. de sulfate de potasse[1], 112 kilogr. de sulfate de soude[2], et 112 kilogr. de sulfate de magnésie	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
4 C.	1 120 kilogr. de tourteau, 224 kilogr. de sulfate de potasse[1], 112 kilogr. de sulfate de soude[2]; 112 kilogr. de sulfate de magnésie et 439 kilogr. de superphosphate	42,55	66,83	3 703	[illegible]	[illegible]	[illegible]
1 N.	308 kilogr. de nitrate de soude	33,57[7]	65,60[7]	2 870[7]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
2 N.	308 kilogr. de nitrate de soude[7]	37,28[7]	65,90[7]	2 280[7]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	224 kilogr. de sulfate de potasse[1] et 439 kilogr. de superphosphate	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible] A.	224 kilogr. de sulfate de potasse[1], 439 kilogr. de superphosphate et 224 kilogr. de sels ammoniacaux	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	112 kilogr. de sulfate de soude, 112 kilogr. de sulfate de magnésie et 439 kilogr. de superphosphate	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	Sans engrais	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	Cendres (terre [illegible] et herbes)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	Fumier de ferme (35 000 kilogr.) pendant 20 années 1852-1871 ; sans engrais depuis	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	Fumier de ferme (35 000 kilogr.) chaque année.						

1. Pendant les 6 premières années (1852-1857), le sulfate de potasse a été employé à la dose de 336 kilogr. au lieu de 224 kilogr. à l'hectare.

2. Pendant les 6 premières années, le sulfate de soude a été employé à la dose de 224 kilogr.

3. L'application des silicates, à partir de 1854, a été d'abord de 224 kilogr. de soude et de 224 kilogr. de chaux ; depuis 1868, il a été de 448 kilogr. de silicate de soude.

4. Dans les 6 premières annnés, 2 240 kilogr. de tourteau ; depuis 1858, 1 120 kilogr. seulement.

5. Nitrate de soude depuis 1853 seulement, c'est-à-dire pendant 19 années consécutives.

6. Dans les 5 premières années, 616 kilogr. de nitrate de soude.

7. Moyenne de 19 ans seulement.

8. Moyenne de 14 ans seulement.

tableau II les produits moyens à l'hectare (grain vanné et paille) pour la période (1852-1871), et pour l'année 1871[1].

Ainsi, comme pour le froment, on a déterminé le volume du grain, le poids de l'hectolitre, le poids total du grain et de la paille; mais on a noté, en outre, la proportion de grain pour cent de produit total, et celle du grain vanné pour cent de grain total.

Ces données ont été présentées chaque année dans un tableau identique, comprenant sept catégories qui correspondent à chaque série d'engrais essayés, à savoir :

1° *Sans engrais* (moyennes de la parcelle sans engrais et de celle fumée avec de l'argile calcinée et des cendres de mauvaises herbes);

2° *Fumier de ferme* (35 000 kilogr. par hectare et par an);

3° *Engrais minéraux seuls* (parcelle 4 O);

4° *Sels ammoniacaux seuls* (parcelle 1 A); mélange en parties égales de sulfate et de chlorhydrate d'ammoniaque, à raison de 224 kilogr. à l'hectare et par an;

5° Mélange d'engrais minéraux (n° 3 ci-dessus) et de sels ammoniacaux (n° 4 ci-dessus); parcelle 4 A;

6° Mélange d'engrais minéraux (n° 3) et de sels ammoniacaux à raison de 448 kilogr. à l'hectare et par an : parcelle 4 AA;

7° Mélange d'engrais minéraux (n° 3) et de tourteau de navette, à raison de 2 240 kilogr. à l'hectare et par an : parcelle 4 C.

Les séries d'observations pour les vingt années, sont résumées dans le tableau III, qui indique les rendements moyens comme quantité et qualité, par rapport aux sept parcelles-types.

Ce tableau permet de noter en passant ce fait significatif, que, sur une période de vingt années, les sels ammoniacaux employés seuls ont fourni en moyenne, par hectare, $4^{hl},49$ de grain et 502 kilogr. de paille en plus que le mélange d'engrais minéraux. En outre, les sels ammoniacaux et minéraux en mélange ont donné une moyenne annuelle de $17^{hl},06$ de grain et de 1 757 kilogr. de paille en plus que le mélange employé seul d'engrais minéraux ; cet excédent, par rapport à la parcelle fumée avec les sels ammoniacaux seuls, n'a été toutefois que de $12^{hl},57$ de grain et de 1 255 kilogr. de paille.

---

1. *Memoranda of the field experiments at Rothamsted.* May 1872.

TABLEAU III. — Hoos field. Expériences sur la culture de l'orge pendant 20 années (1852-1871). Rendements moyens comme quantité et comme qualité.

NUMÉROS des parcelles choisies.	COMPOSITION DES ENGRAIS A L'HECTARE ET PAR AN.	PRODUIT MOYEN, ETC., A L'HECTARE ET PAR AN. Grain vanné. Hectolitres.	Poids de l'hectolitre.	Grain total.	Paille et balles.	Produit total. Grain et paille.	Grain à paille.
			kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	p. 100.
1 O. .	Sans engrais.	17,96	64,85	1 276	1 475	2 750	86.6
7	Fumier de ferme (35 000 kilogr.).	43,33	67,80	3 104	3 546	6 650	88.5
4 O. .	Engrais minéraux seuls	24,70	66,55	1 739	1 804	3 544	96.4
1 A. .	224 kilogr. sels ammoniacaux seuls . . .	29,19	65,00	2 066	2 323	4 389	89.2
4 A. .	Engrais minéraux et 224 kilogr. de sels ammoniacaux	41,54	67,35	2 942	3 578	6 520	83.2
4 AA.	Engrais minéraux et 448 kilogr. de sels ammoniacaux, 6 ans . . . . . Engrais minéraux et 224 kilogr. de sels ammoniacaux, 10 ans. . . . . Engrais minéraux et 308 kilogr. de nitrate de soude dans les quatre dernières années.	44,68	66,55	3 157	4 065	7 222	79.5
4 C. .	Engrais minéraux et 2 200 kilogr. de tourteau, 6 ans. . . . . Engrais minéraux et 1 120 kilogr. de tourteau, 14 dernières années	42,55	66,85	3 021	3 703	6 727	83.0

Il ne paraît donc pas douteux que, dans ce sol déjà appauvri, la quantité disponible d'azote se soit plus promptement épuisée que celle des éléments minéraux, relativement à la culture spéciale de l'orge. Ce résultat concorde avec celui déjà signalé pour le froment.

Influence des saisons. — Si l'on considère que les variations climatériques d'une même année sont infinies et affectent de bien des manières différentes le développement de la plante, il est évident qu'une discussion très serrée des données statistiques de la météorologie, en présence des observations faites dans les champs d'essai, peut seule révéler une relation quelconque entre les caractères des saisons et les rendements.

Une remarque générale fondée sur cet examen comparatif, c'est que la *quantité* du rendement paraît dépendre principalement de la

quantité et de la distribution des pluies pendant la croissance de la plante, et que la *qualité* semble soumise à la progression de la température.

Quant aux engrais, ils influent sur la *quantité* par la proportion disponible dans le sol d'azote assimilable, et sur la *qualité* (c'est-à-dire, la tendance à la maturité) par la quantité des matières minérales correspondant aux cendres contenues dans le sol.

Dans le cas spécial des vingt années de culture consécutive de l'orge, il y a des particularités à signaler. Ainsi, pour s'en tenir seulement aux résultats des parcelles fumées à l'aide du mélange d'engrais minéraux, on reconnaît qu'aucune année ne réalise toutes les conditions d'excellence sous le rapport de la quantité et de la qualité du rendement. MM. Lawes et Gilbert ont établi ce fait[1] dans deux tableaux se référant à six années de culture (1852 à 1857), et groupés ici en un seul (tableau IV).

TABLEAU IV. — Hoos field. Culture expérimentale de l'orge. Classement des années 1852 à 1857.

CLASSEMENT DES ANNÉES par qualité et quantité de rendement.	N° 1.		N° 2.		N° 3.		N° 4.		N° 5.		N° 6.	
		Années.		Années.		Années.		Années.		Années.		Années.
Rapport du grain total pour 100 de produit total . . . p. 100	53.3	187	50.6	1855	49.1	1856	47.8	1854	46.8	1853	45.4	1852
Rapport du grain vanné pour 100 de grain total . . p. 100	97.6	1857	95.6	1854	95.4	1855	92.5	1852	92.1	1853	91.3	1856
Poids de l'hectolitre d'orge vanné. . . . . kilogr.	67,35	1854	66,96	1857	66,23	1855	61,98	1853	63,92	1852	58,63	1856
Classement de chaque année pour la qualité.	»	1857	»	1854	»	1855	»	1853	»	1852	»	1856
Grain total à l'hectare. kilogr.	2 661	1854	2 456	1857	2 317	1855	2 261	1853	2 039	1852	1 141	1856
Paille totale à l'hectare. kilogr.	2 909	1854	2 572	1853	2 453	1852	2 259	1855	2 152	1857	1 184	1856
Rendement total (grain et paille) à l'hectare . kilogr.	5 570		4 833	1853	4 608	1857	4 575	1855	4 492	1852	2 325	1856
Classement de chaque année pour la quantité	»	1854	»	1857	»	1855	»	1853	»	1852	»	1856
Classement définitif par rapport à la qualité et à la quantité	1854		1857		1855		1853		1852		1855	

1. *Journ. Roy. agr. Soc. Engl.*, t. XVIII, 1857.

Sur les autres parcelles on constaterait de même, que si l'année 1854 est celle où le produit effectif en grain et en paille a été le plus fort, les années 1857 et 1855 n'en offrent pas moins une proportion de grain pour cent plus élevée qu'en 1854. La plus mauvaise année des six, sous le rapport de la quantité et de la qualité de la récolte, 1856, tient pourtant le troisième rang quant à la proportion de grain pour cent, et cela, aussi bien sur les parcelles fumées avec des engrais azotés, que sur celles fumées avec des engrais minéraux.

Si l'on considère la tendance au grain comme étant la caractéristique des qualités d'une année, plutôt que la tendance au produit total le plus élevé, on devra remarquer que l'excellence dépend le plus souvent, pour la période finale de la végétation, d'une température relativement élevée, d'une dose limitée et d'une bonne répartition de pluie, enfin d'une pression barométrique plutôt élevée. A cet égard, les deux années de fort rendement en grain, 1857 et 1855, ont été plus favorisées que l'année 1854 où le rendement total, grain et paille, a été plus considérable, en même temps que l'hectolitre de grain a pesé plus lourd.

Il est assez singulier que de ces six années, les deux extrêmes, 1854 et 1856, sont aussi les années extrêmes de la période de vingt années (1852 à 1871); elles méritent pour cela d'être comparées.

Année 1854. — L'hiver qui avait précédé l'ensemencement de l'orge, fut exceptionnellement rude. Mars et avril furent plus chauds qu'à l'ordinaire, tandis que les mois de mai, juin, juillet et août se maintinrent au-dessous de la température moyenne. Bien qu'en mars, avril, juin et juillet, le nombre de jours de pluie fût supérieur à la moyenne, la quantité d'eau pluviale fut très sensiblement inférieure. En mai, la quantité d'eau pluviale fut double de la quantité moyenne et répartie sur un grand nombre de jours. En août, également, il plut beaucoup, mais par grosses averses, et ce mois fut très favorable à la maturité du grain, comme à la moisson.

Ainsi, en 1854, température générale peu élevée; abondance de pluie pendant la croissance active, et avant la récolte; mais sécheresse relative et basse température dans l'intervalle, qui ont assuré le développement régulier de la plante.

Année 1856. — L'hiver précédent, rigoureux au début, s'est montré plutôt doux en 1856. Les mois de mars, avril et mai ont été plus froids qu'à l'ordinaire, tandis que juin, juillet et août ont été marqués par des températures extrêmes, les nuits de juin et juillet restant froides. L'eau pluviale tombée en janvier, février, mars, avril, mai, juin et juillet excéda de $0^m,12$ celle tombée pendant les mois correspondants de 1854; en mai, elle fut plus que double de la moyenne et très supérieure en août.

L'année 1856 se caractérise donc par un grand excès de pluie, avec de brusques variations de température pendant la croissance active, qui se sont opposées au développement progressif et ont éprouvé la plante déjà affaiblie au moment de sa maturité.

Malgré le grand intérêt de cet examen, il n'y a pas lieu de s'arrêter aux différences climatériques présentées par les périodes décennales, relativement à la période totale de vingt années; mais plutôt, de comparer les résultats de chaque engrais, afin de déterminer les meilleures conditions de fumure, les éléments dont l'orge provoque l'épuisement le plus rapide et les caractères spéciaux des engrais appliqués par rapport au froment.

Résultats de 20 années. — Pour rendre leurs observations aussi indépendantes que possible de l'influence des saisons, MM. Lawes et Gilbert ont relevé et comparé les chiffres moyens des parcelles formant les séries suivantes :

a) Parcelles sans engrais;

b) Parcelles avec fumier;

c) Parcelles avec mélange exclusif d'engrais minéraux;

d) Parcelles avec sels ammoniacaux ou nitrate de soude exclusivement (224 kilogr. de sels ammoniacaux ou 306 kilogr. de nitrate de soude et 448 kilogr. de sels ammoniacaux, ou 606 kilogr. de nitrate de soude);

e) Parcelles avec mélange d'engrais minéraux et de sels ammoniacaux ou de nitrate de soude, suivant les quantités indiquées en *d*;

f) Parcelles avec tourteau de navette seul, ou en mélange, soit avec du superphosphate seul, soit avec des sels alcalins seuls, soit avec du superphosphate additionné de sels alcalins.

A titre d'exemple de cette étude, l'examen des parcelles de la série soumise au mélange de sels ammoniacaux, à raison de 224 kilogr. à l'hectare, avec les engrais minéraux, a été choisi. Le tableau V indique, en regard du rendement moyen de chaque période décennale et de la période totale, les différences de produit relativement aux parcelles sans engrais et avec engrais minéraux seuls.

On reconnaît d'après ce tableau que le rendement moyen des vingt années, s'élevant pour le mélange de sels ammoniacaux avec le superphosphate, à $42^{hl},32$ de grain vanné et à 3 468 kilogr. de paille, n'atteint plus que $31^{hl},35$ de grain vanné et 2 605 kilogr. de paille, lorsque le mélange de la même quantité de sels ammoniacaux s'est fait avec des sulfates alcalins au lieu de superphosphates. Quand même les sulfates alcalins et le superphosphate sont additionnés de 224 kilogr., à l'hectare, de sels ammoniacaux, le produit en grain vanné est seulement de $41^{hl},66$ et celui de la paille atteint 3 578 kilogr. Il en résulte que, sauf pour une augmentation de paille insignifiante, l'addition de sels alcalins au superphosphate est superflue.

Le tableau indique encore que l'augmentation de produit, par rapport aux parcelles sans engrais et aux parcelles avec engrais minéraux, est bien plus sensible dans la seconde période décennale que dans la première. Les parcelles, sans engrais et avec engrais minéraux, ont donné en effet un produit de plus en plus faible dans la deuxième période, tandis que l'accroissement dû aux sels ammoniacaux s'est maintenu dans l'ensemble des vingt années.

Les différences de rendement, attribuables à l'emploi des sels ammoniacaux, varient notablement avec les éléments minéraux du mélange, et l'on constate ici, comme la pratique générale le confirme, que le superphosphate est un engrais des plus efficaces pour l'orge, pourvu qu'il y ait dans le sol assez d'azote assimilable. Son efficacité est d'autant plus grande qu'elle porte sur une céréale de printemps, exigeant, pendant une plus courte période de végétation, la présence de matières assimilables en plus grande abondance, afin de parfaire son plein développement.

Les caractères spéciaux du sol de Hoosfield, à cause de sa richesse en potasse, laissaient prévoir que le superphosphate aurait plus d'efficacité que les sels alcalins. On ne pouvait guère s'attendre tou-

TABLEAU V. — Hoosfield. Culture expérimentale de l'orge. Produit moyen comparé des parcelles avec sels ammoniacaux et avec sels minéraux.

Parcelles choisies.	Engrais à l'hectare et par an. — Mélange de 224 kilogrammes de sels ammoniacaux avec les sels minéraux ci-dessous.	Produit moyen annuel, etc. — Premières dix années (1852-1861)	Secondes dix années (1862-1871)	Période totale des vingt années (1852-1871)	Différence entre les deux périodes décennales.	Différences de la période totale. sur parcelles sans engrais.	sur parcelles avec engrais minéraux correspondants.
					P. 100		
	Grain vanné à l'hectare en hectolitres.						
2 A	Superphosphate	41,09	43,56	42,32	6.0	23,46	19,31
3 A	Mélange de sels alcalins	31,44	31,55	31,55	0.4	12,68	11,31
4 A	Mélange de superphosphate et de sels alcalins	41,54	41,77	41,66	0.5	22,79	16,95
5 A	Superphosphate et sulfate de potasse	39,07	40,30	39,63	3.2	20,77	19,08
	Grain total à l'hectare en kilogrammes.						
2 A	Superphosphate	2 872	3 096	2 984	7.8	1 652	1 371
3 A	Mélange de sels alcalins	1 229	2 236	2 232	0.3	901	811
4 A	Mélange de superphosphate et de sels alcalins	2 906	2 990	2 948	2.9	1 616	1 209
5 A	Superphosphate et sulfate de potasse	2 719	2 896	2 808	6.5	1 476	1 358
	Paille et balles à l'hectare en kilogrammes.						
2 A	Superphosphate	3 499	3 452	3 468	— 1.5	1 946	1 789
3 A	Mélange de sels alcalins	2 746	2 479	2 605	— 9.8	1 082	1 066
4 A	Mélange de superphosphate et de sels alcalins	3 625	3 518	3 572	— 2.9	2 056	1 773
5 A	Superphosphate et sulfate de potasse	3 499	3 546	3 515	1.5	1 993	1 961
	Rendement total (grain, paille et balles) à l'hectare en kilogrammes.						
2 A	Superphosphate	6 371	6 548	6 452	2.7	3 593	3 160
3 A	Mélange de sels alcalins	4 975	4 715	4 837	— 5.3	1 983	1 877
4 A	Mélange de superphosphate et de sels alcalins	6 531	6 510	6 520	— 0.3	3 672	2 982
5 A	Superphosphate et sulfate de potasse	6 218	6 412	6 323	3,7	3 469	3 319
	Poids de l'hectolitre de grain vanné en kilogrammes.						
2 A	Superphosphate	64,59	68,73	66,70	6.4	1,37	0,37
3 A	Mélange de sels alcalins	63,93	67,47	65,81	5.0	0,50	- 0,25
4 A	Mélange de superphosphate et de sels alcalins	65,09	69,48	67,35	6.7	2,00	0,75
5 A	Superphosphate et sulfate de potasse	64,71	69,48	67,06	7.3	1,75	0,37
	Rapport pour 100 du grain à la paille.						
2 A	Superphosphate	81.9	91.8	86.8	12.1	— 1.3	— 10.3
3 A	Mélange de sels alcalins	81.4	91.3	86.3	12.2	— 1.8	— 6 1
4 A	Mélange de superphosphate et de sels alcalins	79.9	86.4	83.2	8.1	— 4.9	— 13.2
5 A	Superphosphate et sulfate de potasse	77.8	83.1	80.4	6.8	7.7	— 15.8

tefois à voir le mélange de sels ammoniacaux et de superphosphate, sans addition d'aucun alcali, fournir une récolte en orge beaucoup supérieure à la moyenne obtenue dans le pays, pendant vingt années consécutives.

Comparaison avec le froment. — MM. Lawes et Gilbert ont poursuivi leur étude comparative des divers engrais entre l'orge et le froment. Ainsi, pour s'en tenir au mélange des sels ammoniacaux avec les sels minéraux, ils ont relevé, dans le tableau n° VI, les différences suivantes entre les deux céréales quant aux périodes décennales et totale.

TABLEAU VI. — Rendement comparé du froment et de l'orge pour une fumure d'engrais minéraux et de sels ammoniacaux mélangés.

NUMÉROS des parcelles.	ENGRAIS A L'HECTARE ET PAR AN.	PRODUIT MOYEN ANNUEL, ETC.			
	Même engrais pour le froment et pour l'orge : 439 kilogr. de superphosphate de chaux. 224 kilogr. de sulfate de potasse. 112 kilogr. de sulfate de soude. 112 kilogr. de sulfate de magnésie. 224 kilogr. de sels ammoniacaux.	Première période décennale (1852-1861)	Seconde période décennale (1861-1871)	Période totale des vingt années (1852-1871)	Différence entre les périodes décennales.
		Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	P. 100.
	Grain total à l'hectare.				
N° 6	Froment pendant vingt ans (1852-1871)	1 902	1 837	1 870	— 3.4
N° 4 A	Orge pendant vingt ans (1852-1871)	2 906	2 990	2 948	+ 2.9
	Différence pour l'orge	+ 1 004	+ 1 153	+ 1078	
	Paille et balles à l'hectare.				
N° 6	Froment pendant vingt ans (1852-1871).	3 302	2 863	3 082	— 13.3
N° 4 A	Orge pendant vingt ans (1852-1871)	3 625	3 518	3 572	— 2.9
	Différence pour l'orge	+ 323	+ 655	+ 490	
	Produit total (grain, paille et balles) à l'hectare.				
N° 6	Froment pendant vingt ans (1852-1871)	5 201	4 700	4 952	— 9.7
N° 4 A	Orge pendant vingt ans (1852-1871)	6 531	6 510	6 520	— 0.3
	Différence pour l'orge.	+ 1 327	+ 1 810	+ 1 568	

Bien que l'année 1852, qui commence la première période décennale (1852-1861) du froment, dans la comparaison avec l'orge,

corresponde à la huitième année d'expériences, et que la parcelle n° 6 eût reçu pendant huit ans déjà de fortes quantités d'engrais minéraux et ammoniacaux, le rendement en grain s'y est maintenu à peu près le même dans les deux périodes décennales. La paille, au contraire, et le produit total ont baissé dans la deuxième période. Quant à l'orge, le grain a augmenté légèrement ; la paille a baissé faiblement dans la seconde période, et le rendement total s'est maintenu à peu près égal dans les deux périodes.

Les mêmes observations se vérifieraient en examinant les excédents des deux céréales sur les mêmes parcelles, relativement aux parcelles avec engrais minéraux seuls, au lieu de tenir compte seulement, comme dans le tableau VI, du produit moyen.

La différence favorable à l'orge ne saurait s'expliquer que par la durée différente de végétation des deux céréales. Les sels ammoniacaux répandus à l'automne pour le froment, sont en partie entraînés par les eaux hivernales de drainage et on les retrouve dans ces eaux à l'état de nitrates, comme l'ont prouvé les nombreuses analyses faites par le docteur Vœlcker et le professeur Frankland sur les eaux recueillies dans les drains de Broadbalk field, rapprochées des dosages d'azote du sol prélevé à $0^m,22$, à $0^m,45$ et à $0^m,68$ de profondeur dans la même pièce[1].

Rendements moyens comparés : orge et froment. — Les conséquences à tirer des résultats obtenus au moyen de divers mélanges fertilisants dans le même sol, pendant vingt années, sont les suivantes :

Parcelles sans engrais. — Le produit moyen annuel a été de $18^{hl},86$ d'orge vanné et de 1 506 kilogr. de paille. La qualité indiquée par le poids de l'hectolitre a été meilleure dans la deuxième que dans la première période décennale ; mais le produit total, grain et paille, y a été de 23 à 24 p. 100 inférieur.

Comparée au froment cultivé également sans engrais pendant vingt ans, l'orge a donné en moyenne plus de grain, moins de paille, et à peu près le même produit total ; toutefois, dans les dernières

1. *Brit. Assoc. Report.* Nottingham, 1866.

années, le rendement en grain s'est plus abaissé pour l'orge que pour le froment.

Fumier de ferme. — Le fumier a donné un rendement moyen, pour l'orge, de plus de 43 hectolitres de grain et 3 515 kilogr. de paille. Le poids de l'hectolitre, la quantité de grain et de paille, ont été plus élevés dans la deuxième période décennale. Le fumier apportant au sol trois à quatre fois plus d'azote qu'aucun des engrais commerciaux employés à Hoosfield, et beaucoup plus de matières organiques carbonées, y laisse un résidu de substances très lentement décomposables, au service des récoltes ultérieures. Cependant, cette grande accumulation de matières organiques augmente la perméabilité du sol, sa faculté d'absorption de l'humidité, et fait que les récoltes souffrent moins de l'excès de pluie, comme de la sécheresse excessive.

Comparée au froment cultivé avec le fumier, l'orge fournit plus de grain, moins de paille, mais à peu près le même rendement total (grain et paille), bien qu'elle soit fumée et semée au printemps.

Engrais minéraux seuls. — Les engrais minéraux seuls fournissent des récoltes médiocres qui ont notablement diminué dans les dernières années. Le superphosphate de chaux employé seul assure une récolte supérieure à celle du mélange de sulfates alcalins. La diminution de rendement sur les parcelles sans engrais et sur celles avec engrais minéraux seuls, semble révéler un épuisement graduel de l'azote accumulé dans le sol par la culture et la fumure dans les années qui ont précédé les expériences.

Le mélange de sels alcalins et de superphosphate, pour une même période de vingt années, a fourni beaucoup plus de grain, un peu moins de paille, et un rendement total en orge beaucoup plus considérable que pour le froment. Il est probable que ce résultat est dû à la distribution différente des éléments des engrais appliqués à ce dernier en automne, lesquels sont dissous par les pluies et réduits à l'état de combinaisons moins solubles dans le sol. L'orge épuise ainsi, plus rapidement que le froment, l'azote accumulé dans les couches supérieures.

Engrais azotés seuls. — On obtient à l'aide des sels ammoniacaux seuls, ou du nitrate de soude seul, des récoltes d'orge beaucoup plus

fortes qu'avec les engrais minéraux ; le rendement a aussi beaucoup moins diminué dans les dernières années ; ce qui démontrerait la richesse du sol en matières minérales, par rapport à son épuisement en azote assimilable.

Sels ammoniacaux et superphosphate. — Ce mélange a fourni un rendement moyen de plus de 42 hectolitres d'orge vannée et de 3 550 kilogr. de paille, qui a augmenté dans les dernières années. L'addition à ce mélange, de potasse, de soude et de magnésie n'a donné aucun accroissement de grain.

Par rapport au froment traité par 224 kilogr. de sels ammoniacaux, additionnés de superphosphate de chaux, l'orge a fourni plus de la moitié de grain, un sixième de paille et un tiers du rendement total en excédent. Le même résultat, à l'avantage de l'orge, s'est maintenu quand on a doublé la proportion de sels ammoniacaux.

Nitrate de soude. — Une quantité déterminée d'azote à l'état de nitrate de soude correspond à un rendement plus élevé que lorsqu'il est à l'état de sels ammoniacaux, surtout pendant les années de sécheresse. Le nitrate de soude étant plus soluble, agit probablement sur le sous-sol, de manière à augmenter la surface susceptible d'absorber et de retenir l'humidité, au profit des racines, etc.

Tourteau. — L'emploi des tourteaux avec ou sans addition d'engrais minéraux, a procuré une récolte d'orge plus élevée que la moyenne obtenue dans le pays, mais moindre, relativement à l'azote contenu, que celle fournie par les sels ammoniacaux ou le nitrate de soude.

Pendant vingt années consécutives, le mélange de sels ammoniacaux ou de nitrate de soude, avec les composés minéraux sans silice, a fourni un rendement moyen plus élevé, pour l'orge et le froment, que le fumier ou le tourteau. Il s'ensuivrait que l'apport, dans le sol, de matières organiques carbonées n'est pas essentiel pour l'engrais à appliquer aux deux céréales.

Ammoniaque correspondant à une augmentation déterminée de rendement. — La comparaison des produits obtenus à l'aide des divers engrais, seuls ou mélangés, démontre ainsi que la matière organique carbonée, si abondante dans le fumier et le tourteau, n'est pas

essentielle comme engrais du blé ou de l'orge; que les engrais azotés procurent un rendement bien supérieur à celui que fournissent les engrais minéraux seuls; et que leur mélange assure de grosses récoltes pendant bien des années consécutives. En d'autres termes, les matières des engrais, susceptibles de décomposition en acide carbonique ou en produits carbonés, dans le sol, ont peu ou point d'action; les matières minérales seules ne permettent pas à la plante de prendre assez d'azote au sol ou à l'atmosphère; de plus, en présence d'engrais azotés, les éléments minéraux du sol ne suffisent pas pour donner à l'azote toute son efficacité; mais si aux engrais azotés on ajoute des engrais minéraux, l'efficacité de l'azote est considérablement accrue. Il s'ensuit qu'il y a tout intérêt à déterminer pratiquement quelle est la quantité moyenne d'ammoniaque, ou de son équivalent en azote à un autre état, nécessaire pour produire un excédent de rendement en grain, avec la quantité proportionnelle de paille. De combien cette quantité varie-t-elle suivant la dose appliquée à l'hectare, suivant l'apport d'éléments minéraux et les circonstances climatériques?

En réponse à ces questions, MM. Lawes et Gilbert ont établi la quantité d'ammoniaque nécessaire pour obtenir un excédent d'un hectolitre d'orge pesant $64^{kg},85$, avec son *quantum* de paille, suivant les nombreux modes de fumure adoptés dans leurs expériences, pendant chacune des vingt années et pendant des périodes déterminées.

La conclusion pratique, telle que MM. Lawes et Gilbert l'ont énoncée, est la suivante :

Un excédent de 1 hectolitre de grain ($64^{kg},85$) avec son *quantum* de paille ($70^{kg},6$, par exemple), obtenu à l'aide d'engrais, tels que le sulfate d'ammoniaque, le nitrate de soude ou le guano du Pérou, correspond, pour la moyenne des années, à $2^{kg},25$ et $2^{kg},50$ d'ammoniaque, ou à son équivalent d'azote fourni par l'engrais.

Il y a deux conditions pour que cette conséquence se vérifie : la première, que l'apport d'ammoniaque ne soit pas excessif; la seconde, que le sol ne manque pas d'éléments minéraux.

En pratique courante, on réalise ces conditions lorsque l'orge, cultivée après des racines fumées et enlevées au sol, ou après une

autre céréale, reçoit 190 à 250 kilogr. de sulfate d'ammoniaque, ou 220 à 280 kilogr. de soude, avec 250 à 375 kilogr. de superphosphate à l'hectare; ou bien encore 375 à 500 kilogr. à l'hectare de guano du Pérou contenant 12 p. 100 d'ammoniaque, sans addition de superphosphate.

Avec le tourteau, il faut augmenter la dose d'azote pour obtenir un excédent de produit déterminé, à cause de l'état où se trouve l'azote. Avec le fumier, ou après le pacage des moutons, la première récolte donnera un excédent beaucoup moindre, proportionnel à l'azote contenu dans l'engrais.

Dans les expériences sur le froment, on a constaté que $5^{kg},6$ d'ammoniaque sont nécessaires pour obtenir 68 kilogr. de grain et 117 kilogr. de paille, soit 185 kilogr. de produit total; tandis que, pour l'orge, $2^{kg},25$ à $2^{kg},50$ d'ammoniaque procurent 58 kilogr. de grain et 70 kilogr. de paille, soit un produit total, à l'hectare, de 128 kilogr.

Il semble naturel, en effet, qu'il y ait lieu d'employer plus d'azote dans l'engrais, pour obtenir un accroissement déterminé de produit, lorsqu'on l'applique au froment à l'automne, que lorsqu'on l'applique à l'orge ou à l'avoine au printemps. Que devient alors l'azote qui n'entre pas dans la composition de la récolte? Reste-t-il entièrement, ou partiellement, dans le sol? S'il y reste, quelle est son action sur les récoltes suivantes? S'il disparaît, comment disparaît-il? Ces questions trouveront leurs réponses par la discussion qui sera faite des résultats obtenus dans la période complète.

Période totale (1852-1897).

Les expériences sur la culture de l'orge, commencées huit années plus tard que celles du froment, embrassaient fin 1897 les résultats de quarante-six années consécutives (1852-1897).

Le nombre des parcelles, qui était de 29 en 1852, n'a pas varié jusqu'à aujourd'hui, et les quelques modifications apportées à la composition de divers engrais minéraux et azotés ont été indiquées dans le tableau des rendements moyens des vingt premières années (1852-1871), qui ont fait l'objet du mémoire étendu de 1873, déjà

analysé[1]. En 1886, un résumé des résultats obtenus pendant trente-quatre ans jusqu'en 1885, fut publié et commenté dans ses détails les plus importants[2]. Finalement, le travail inséré dans le *Journal de la Société d'agriculture d'Écosse*[3], en 1895, porte les conclusions les plus récentes des recherches sur l'orge, qui serviront à compléter le chapitre des essais de Hoosfield.

Produits (grain et paille). — Comme pour le froment, des échantillons de grain et de paille ont été prélevés annuellement sur chacune des 29 parcelles. Un poids déterminé de chaque échantillon a été en partie desséché pour les dosages d'azote, et les duplicata ont été complètement desséchés à 100 degrés, pour y déterminer la matière sèche, et ensuite, par incinération, la quantité de cendres.

Les dosages d'azote ont été moins nombreux que pour le grain et la paille du froment. La plupart de ceux exécutés se réfèrent à des échantillons préparés, proportionnellement au rendement, par mélange du produit de plusieurs parcelles, dans la même année (*mixed plot*), ou d'une même parcelle pendant plusieurs années (*mixed year*).

Les analyses de cendres ont porté sur 44 échantillons de grain et de paille, en vue de montrer l'influence de l'épuisement, de la fumure et des variations de saison pendant les périodes consécutives décennales et quinquennales (1852-1876).

Analyses de sol. — Les premiers échantillons du sol de Hoosfield furent prélevés en 1868 sur quatre des parcelles, en quatre points différents, à des profondeurs de $0^m,076$ jusqu'à $0^m,68$ de profondeur totale, afin d'y doser l'azote.

En 1882, on procéda à la prise d'échantillon sur 26 parcelles, en trois ou quatre points différents de chacune, à des profondeurs de trois fois $0^m,228$, soit en tout $0^m,68$. Une partie des échantillons indi-

1. *Report of experiments on the growth of Barley for twenty years in succession on the same land* (*Journ. R. Agric. Soc. England*, IX, 1873).

2. *Results of experiments, id. id., for more than thirty years in succession id.* (*Agric. Students' Gazette*, III, nouv. série, 1886).

3. *The Rothamsted experiments over fifty years*, 1895.

viduels ayant été mise de côté, on a constitué des mélanges aux trois profondeurs, après avoir dosé l'azote dans les couches différentes, afin d'y déterminer le carbone, le chlore, l'acide nitrique, etc.

La même difficulté qu'à Broadbalk, due à l'irrégularité des sous-sols des diverses parcelles, a empêché de préciser le degré de déperdition ou de gain de l'azote, dans la comparaison des sous-sols des parcelles et aussi de la même parcelle, à plusieurs périodes.

Résultats de la période totale. — Le tableau VII reproduit sous la même forme que pour le froment, les résultats obtenus à l'hectare et par an, comme moyennes de deux périodes de vingt années, et de la période totale de quarante années (1852-1891), en regard de ceux publiés pour les récentes récoltes, 1896 et 1897.

Sauf les moyennes des quatre parcelles AAS, s'appliquant à vingt-huit années; des deux parcelles N, à trente-neuf années; et de la parcelle M, à trente-trois années, les rendements moyens des autres parcelles se réfèrent à quarante années de culture.

Il a paru inutile de rappeler les observations consignées en fin du tableau II, relatives aux formules d'engrais modifiées pendant les premières années (1852-1871).

Parcelles sans engrais. — Hormis deux années, la 3e et la 4e, où le produit en grain a excédé 27 hectolitres, le rendement des parcelles sans engrais a varié de 18 à 27 hectolitres, pendant six années seulement, dans les treize premières récoltes, et depuis lors, il n'a jamais plus atteint 18 hectolitres. Pendant dix-huit années de la période totale, il a été inférieur à 13 hectolitres, et pendant trois années, à 9 hectolitres de grain.

Ainsi, suivant les saisons, il y a de grandes différences dans le produit; indépendamment de ces variations, on peut constater un épuisement progressif d'après les moyennes suivantes :

	PARCELLES SANS ENGRAIS	
	n° 1. O.	n° 6. 1.
	hectolitres.	hectolitres.
1re période de 20 années.	17,96	19,76
2e période de 20 années	11,89	13,35
Période totale de 40 années. . . .	14,92	16.55

La seconde période présente par rapport à la première une réduction de 33.8 et 32.4 p. 100, beaucoup plus considérable que pour le froment. Ce résultat est dû à la durée plus brève de la croissance de l'orge et à sa dépendance plus grande de la couche superficielle du sol.

Relativement aux moyennes de quarante ans, les produits de la parcelle 1 O, pour la 45e et la 46e année, offrent un abaissement de 30 et 70 p. 100; et ceux de la parcelle 6.1, de 24.7 et 31.4 p. 100.

Parcelle avec fumier. — Comme pour les parcelles sans engrais, on a remarqué de grandes fluctuations dans les rendements selon les saisons, mais, au lieu d'une réduction dans les dernières années, on a constaté un accroissement dû à l'accumulation de matières fertilisantes. Cet accroissement se chiffre par 1.6 p. 100 dans la seconde période de vingt années.

Dans quatre des années de la période totale, le fumier de ferme a produit plus de 54 hectolitres de grain à l'hectare. Pendant quinze années, le rendement a été compris entre 36 et 45 hectolitres; pendant cinq années, entre 27 et 36 hectolitres; et une seule année (1887), il a été inférieur à 27 hectolitres.

Pour un rendement moyen, dans les vingt premières années, de $43^{hl},78$, celui des vingt années suivantes a été de $44^{hl},01$, et la moyenne des quarante années a été de $43^{hl},89$ contre $14^{hl},92$ de la parcelle 1 O sans engrais.

On évalue à 224 kilogr. d'azote par hectare la quantité fournie par la fumure exceptionnelle de 35 000 kilogr. de fumier chaque année, soit à 4 500 kilogr. environ dans les vingt premières années, et de 14 à 15 p. 100 le prélèvement d'azote par les récoltes. Il en résulte une forte accumulation d'azote et d'autres éléments dans le sol; ce que l'analyse permet de vérifier. Une évaluation approximative conduit à prévoir que si le résidu restait assimilable pendant les années à venir, au cas où il n'y eût pas de déperdition d'azote à l'état libre ou par le drainage, le stock suffirait pour maintenir les récoltes pendant cent cinquante ans.

Que se passe-t-il, en effet, quand on cesse de fumer après un certain laps de temps; après vingt ans par exemple, comme pour la demi-parcelle 7, n° 1 ?

New York Botanical Garden Library
3 5185 00258 6210